



Departamento de Agroquímica y Medio Ambiente

**Evaluación de dos manejos agrícolas:  
fertilización tradicional y agricultura ecológica,  
en las propiedades de un suelo y su estructura  
microbiana.**



Diego Clavería Campillo

2016

Grado en Ciencias Ambientales

Curso 2015/2016

Tutoras:

Fuensanta García Orenes y Alicia Morugán Coronado.

Área de Edafología y Química Agrícola

## **Resumen**

Muchas prácticas agrícolas han demostrado ser inadecuadas en muchos casos, causando reducciones considerables en la calidad del suelo. A lo largo de este trabajo se pretende analizar las principales diferencias en las propiedades físico-químicas y microbiológicas, así como su influencia en la estructura microbiana, en dos parcelas agrícolas de la provincia de Alicante, comparando dos tratamientos, uno ecológico y otro tradicional con el fin de seleccionar el más apropiado para el suelo de estudio. Los resultados obtenidos indican que el manejo agrícola considerado ecológico (cubierta con restos de poda, abonos orgánicos o ausencia total de fertilizantes inorgánicos) ha mejorado la mayoría de los parámetros del suelo, destacando la elevada biodiversidad microbiana. Se puede afirmar que bajo las condiciones en las que se ha desarrollado este estudio el manejo ecológico produce, en general, una mejora de la calidad del suelo de estudio.

*Palabras claves:* agricultura ecológica, cobertura vegetal, suelos agrícolas, actividades enzimáticas, PLFA, biodiversidad microbiana.

## **Abstract**

Several agricultural practices have been shown to be inadequate in many cases causing notorious reductions on the soil quality. This study is intended to analyze the main differences between the physico-chemical and microbiological properties as well as its influence on their microbial structure in two agricultural parcels from the province of Alicante, comparing two managements, one of them is ecologic and the other is traditional, with the objective of selecting the most appropriate for the soil studied. The updated results show that the agricultural approach considered ecological, has improved majority of the soil parameters, primarily the microbiological biodiversity. This research concludes that under the conditions of which it has been conducted , the ecological management improves the overall quality of the soil.

*Keywords:* ecological agriculture, agricultural soil, PLFA, microbiological biodiversity, enzymatic activities.

## AGRADECIMIENTOS

El agradecimiento más importante sin duda es para mis dos tutoras, Fuensanta García Orenes y Alicia Morugán Coronado. Por darme la oportunidad de realizar este trabajo, por la confianza, por todo el apoyo, por la paciencia durante todos estos meses y sobre todo, por despertar en mí ese interés por los suelos del que ni yo mismo era consciente.

Agradezco 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.



Gracias a todos los compañeros de laboratorio por hacer esas horas tan amenas y por ayudarme siempre que lo he necesitado. He aprendido muchísimo y sin duda gran parte de este trabajo ha sido gracias a vosotros.

Agradecer a todo el personal que compone el departamento de Agroquímica y Medioambiente toda la ayuda prestada y por hacerme sentir parte de este departamento.

Agradecimiento a los agricultores y en especial al dueño de la finca Jose Vicente Andreu, por dejarme trabajar en sus parcelas y por su colaboración en todo lo que he necesitado.

A mi familia, por el apoyo y los ánimos. En especial a mis padres, sin ellos no habría llegado hasta este punto y no estaría escribiendo esto. Gracias por la confianza durante todos estos años.

## HOJA DE ABREVIATURAS

**MO:** Materia Orgánica.

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

**CE:** Conductividad eléctrica. .

**C/N:** Relación Carbono Nitrógeno.

**EA:** Estabilidad de agregados.

**N:** Nitrógeno Kjeldahl.

**P:** Fósforo asimilable.

**CMB:** Carbono de la Biomasa Microbiana.

**REB:** Respiración Edáfica Basal.

**$\beta$ -Glu:** Actividad  $\beta$ - Glucosidasa.

**PHP:** Actividad Fosfatasa.

**MAGRAMA:** Ministerio de Agricultura Alimentación y Medio Ambiente.

**has:** Hectáreas.

**PLFA:** Ácidos grasos fosfolipídicos

**CaCO<sub>3</sub>:** Carbonatos

**Na:** Sodio

**K:** Potasio

**Ca:** Calcio

**Mg:** Magnesio

**G+:** Bacterias gram positivas

**G-:** Bacterias gram negativas

**Actino:** Actinobacterias

# LISTADO DE FIGURAS Y TABLAS

## FIGURAS

- 1- Figura 1. Superficie de agricultura ecológica (ha) por tipo de cultivo. Cultivos permanentes.
- 2- Figura 2. Mapa del riesgo de desertificación en España.
- 3- Figura 3. Superficie de cítricos en España (ha) en plantación regular por comunidades autónomas.
- 4- Figura 4. Localización y georeferenciación del área de estudio.
- 5- Figura 5. Diagrama bioclimático de Orihuela, años 1996-2009.
- 6- Figura 6. Caracterización de la textura de cada parcela de estudio.
- 7- Figura 7. Fotografía tomada a una de las calles de la parcela agrícola con tratamiento ecológico.
- 8- Figura 8. Fotografía tomada a una de las calles de la parcela con tratamiento tradicional.
- 9- Figura 9. Valor medio de la conductividad eléctrica en  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en los suelos con diferentes manejos.
- 10- Figura 10. Valores medios ( $\pm$  desviación estándar) de pH en los suelos con diferentes manejos.
- 11- Figura 11. Valores medios ( $\pm$  desviación estándar) de la materia orgánica en los suelos con diferentes manejos.
- 12- Figura 12. Valores medios ( $\pm$  desviación estándar) de fósforo asimilable.
- 13- Figura 13. Valores medios ( $\pm$  desviación estándar) de Nitrógeno Kjeldahl.
- 14- Figura 14. Valores medios ( $\pm$  desviación estándar) de los distintos macronutrientes analizados (Na, K, Ca, Mg).
- 15- Figura 15. Valores medios ( $\pm$  desviación estándar) de los agregados estables.
- 16- Figura 16. Valores medios ( $\pm$  desviación estándar) del carbono de la biomasa microbiana .
- 17- Figura 17. Valores medios ( $\pm$  desviación estándar) de la respiración edáfica basal.
- 18- Figura 18. Valores medios ( $\pm$  desviación estándar) para la enzima  $\beta$ -Glucosidasa.
- 19- Figura 19. Valores medios ( $\pm$  desviación estándar) para la enzima ureasa.
- 20- Figura 20. Valores medios ( $\pm$  desviación estándar) para la fosfatasa.
- 21- Figura 21. Valores medios ( $\pm$  desviación estándar) de los grupos funcionales obtenidos a partir de los PLFAs analizados.
- 22- Figura 22. Total de grupos funcionales en los suelos con diferentes manejos.
- 23- Figura 23. Puntuaciones del análisis de componentes principales de las propiedades estudiadas en los suelos bajo distinto manejo agrícola.

## TABLAS

- 1- Tabla 1. Principales técnicas de cultivos ecológicos.
- 2- Tabla 2. PLFA usados como indicadores de los diferentes grupos de microorganismos.
- 3- Tabla 3. Principales propiedades de los suelos agrícolas analizadas en el presente estudio.
- 4- Tabla 4. Análisis de componentes principales de las propiedades estudiadas en los suelos bajo distinto manejo agrícola.

# INDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	2
1.1. <i>Problemática en los suelos mediterráneos.</i> .....	2
1.2. <i>Agricultura ecológica en España.</i> .....	3
1.3. <i>Cultivo ecológico de cítricos en las regiones del Mediterráneo.</i> .....	8
1.4. <i>Indicadores de calidad del suelo. La diversidad microbiana.</i> .....	9
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	12
<b>3. MATERIAL Y MÉTODOS</b> .....	13
3.1. <i>Descripción de la zona de estudio</i> .....	13
3.1.1 <i>Localización</i> .....	13
3.1.2. <i>Clima.</i> .....	14
3.1.3. <i>Geología y geomorfología</i> .....	15
3.1.4. <i>Edafología.</i> .....	15
3.1.5 <i>Paisaje.</i> .....	16
3.2. <i>Diseño experimental.</i> .....	17
3.2.1. <i>Toma de muestras y análisis.</i> .....	18
3.3 <i>Análisis estadístico</i> .....	19
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	20
4.1. <i>Propiedades físico-químicas.</i> .....	20
4.1.1. <i>Conductividad eléctrica.</i> .....	20
4.1.2. <i>pH.</i> .....	21
4.2. <i>Propiedades químicas.</i> .....	22
4.2.1. <i>Materia orgánica.</i> .....	22
4.2.2. <i>Fósforo asimilable.</i> .....	23
4.2.3. <i>Nitrógeno Kjeldahl.</i> .....	24
4.2.4. <i>Macronutrientes.</i> .....	25
4.3. <i>Propiedades físicas.</i> .....	26
4.3.1. <i>Agregados estables.</i> .....	26
4.4. <i>Propiedades microbiológicas.</i> .....	27
4.4.1. <i>Carbono de la biomasa microbiana.</i> .....	27
4.4.2. <i>Respiración edáfica basal.</i> .....	28
4.4.3. <i><math>\beta</math>-Glucosidasa.</i> .....	29
4.4.4. <i>Ureasa.</i> .....	30
4.4.5. <i>Actividad fosfatasa.</i> .....	31
4.4.6. <i>Ácidos grasos fosfolipídicos (PLFAs)</i> .....	32
4.4.7. <i>Total.</i> .....	34
4.5. <i>Análisis de componentes principales (PCA).</i> .....	35
<b>5. CONCLUSIONES</b> .....	37
<b>6. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	38
<b>7. ANEXO</b> .....	40

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. *Problemática en los suelos mediterráneos.*

Dentro de los ecosistemas que forman parte de nuestro planeta, el suelo es uno de los más importantes y diversos de ellos. El suelo constituye uno de los componentes fundamentales para el desarrollo de la vida, sin embargo, está sometido a fuertes impactos de naturaleza antrópica ligados a prácticas de manejo poco sostenibles, que conducen al deterioro de grandes superficies de suelo fértil a nivel mundial.

En las últimas décadas, casi el 11% del suelo fértil ha sido erosionado, alterado químicamente o compactado físicamente, cambiando drásticamente su función biótica original (su capacidad para procesar nutrientes de forma que puedan ser utilizados por los organismos vivos) y disminuyendo su capacidad para producir biomasa. Los efectos son tales, que prácticamente el 3% de los suelos se han visto degradados hasta un punto en el que han dejado de poder cumplir de nuevo esa función (World Resources. 1996).

El tipo de gestión que se lleva a cabo sobre las distintas superficies agrícolas es una de las actividades más significativas en la alteración y erosión del suelo, afectando a parámetros físicos, químicos y biológicos, resultando especialmente relevante en ambientes semiáridos (Cerdà y col. 2009; Barbera y col. 2013; Jones y col. 2014).

La degradación del suelo se ve incrementada en las regiones mediterráneas del sureste español debido a las siguientes causas:

- Las condiciones pluviométricas están marcadas por una enorme variabilidad de las precipitaciones con una irregularidad extrema con largos periodos secos o de aridez durante todo el año interrumpido por lluvias de diferente intensidad, donde a menudo el carácter torrencial incrementa notablemente la erosión por escorrentía superficial y limita considerablemente la necesaria infiltración.
- El sureste español se presenta con más de 3000 horas de exposición solar anual, con un régimen de temperaturas que mantiene unas medias anuales en verano de 16° o 17°C llegando de máxima hasta los 42°C puntualmente. Esta situación favorece la evapotranspiración, agotando 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.

- Las propias características de los materiales litológicos de la zona hacen que sea más vulnerable a cualquier tipo de actuación. Destaca la presencia de materiales más sensibles a la erosión y degradación de sus propiedades físicas, químicas y biológicas como son las rocas carbonatadas, margas y sedimentos cuaternarios con altos índices de erosionabilidad.
- La región mediterránea ha sufrido los cambios de uso del suelo y la constante recalificación de terrenos con el problema de degradación del suelo que ello conlleva. Este problema se acentúa a lo largo de las costas de esta región.
- La orografía propia de la región mediterránea con pendientes medias y altas junto con las condiciones medioambientales, intensifican la erosión edáfica.

Los suelos han de considerarse como un recurso no renovable debido a que los procesos naturales necesarios para su formación ocurren muy lentamente. Los suelos deteriorados pueden tardar miles de años en recuperarse totalmente.

En la actualidad se ha reducido enormemente la práctica agrícola a pequeña escala y las grandes extensiones han ido transformando sus cultivos en plantaciones más industrializadas, sustituyendo cultivos de rotación mixto por monocultivos intensivos.

El sureste español presenta unas características que favorecen el asentamiento de grandes cultivos intensivos y es precisamente este hecho el que complica la sostenibilidad a largo plazo de los sistemas agrícolas. Muchas de las prácticas agrícolas utilizadas actualmente han demostrado en numerosos casos ser inadecuadas, alterando las propiedades del suelo y con ello su calidad.

## 1.2. Agricultura ecológica en España.

Ante el escenario de alteración de los sistemas agrarios y de disminución de la productividad de los cultivos alimenticios, es urgente la búsqueda de alternativas para desarrollar agrosistemas resilientes frente al cambio climático, que contribuyan al desarrollo en el medio rural y que, al mismo tiempo, produzcan suficiente alimentos sanos capaces de alimentar a la población mundial, todo ello dentro de un marco de sostenibilidad. La adaptación de sistemas agrarios al cambio climático puede ser el desafío más importante al que se enfrenta la humanidad en las próximas décadas (Esquinas. 2013; Williams. 2013).

La agricultura ecológica, se puede definir de manera sencilla como un compendio de técnicas agrarias (Tabla 1) que excluye normalmente el uso, en la agricultura y ganadería, de productos

químicos de síntesis como fertilizantes, plaguicidas, antibióticos, etc., con el objetivo de preservar el medio ambiente, mantener o aumentar la fertilidad del suelo y proporcionar alimentos con todas sus propiedades naturales (MAGRAMA. 2009).

Tabla 1. Principales técnicas de cultivos ecológicos.

<b>Biodinámica</b>	Establecer un calendario anual en el que se recogen los días favorables para realizar determinadas tareas, dependiendo del aprovechamiento de la planta.
<b>Permacultura</b>	Desarrollar un diseño de finca para favorecer el ahorro en el trabajo y energía, intentando ser lo más autosuficientes posible
<b>Agroecología</b>	Integración de la agricultura en el mercado económico. Defiende unas prácticas culturales ecológicas con un consumo responsable, con políticas que beneficien al productor
<b>Fertirrigación</b>	Es una técnica que permite la aplicación simultánea de agua y fertilizantes a través del sistema de riego. Se reducen las pérdidas por lixiviación y permite la utilización de fertilizantes naturales
<b>Agricultura natural</b>	Este tipo de agricultura no requiere de labranza, ni fertilizantes, ni plaguicidas y tampoco de podas. Este manejo permite no alterar el suelo en ningún momento

Dependiendo del tipo de manejo que se desarrolle en los sistemas agroforestales, los suelos pueden evolucionar en un sentido u otro (García-Orenes y col. 2010), afectando significativamente a sus propiedades en condiciones mediterráneas (García-Orenes y col. 2009).

En España, el control y la certificación de la producción agraria ecológica es competencia de las Comunidades Autónomas y se lleva a cabo mayoritariamente por autoridades de control públicas, a través de Consejos o Comités de Agricultura Ecológica territoriales que son organismos dependientes de las correspondientes Consejerías o Departamentos de Agricultura, o directamente por Direcciones Generales adscritas a las mismas. Nuestro país reúne condiciones para el desarrollo de este tipo de agricultura por su favorable climatología y los sistemas extensivos de producción que se aplican en un gran número de cultivos.

En el año 1989 se aprobó el Reglamento de la Denominación Genérica “Agricultura Ecológica”, de aplicación hasta la entrada en Vigor del Reglamento (CEE) 2092/91 sobre la producción agrícola, ecológica y su indicación en los productos agrarios y alimenticios.

En la actualidad, desde el 1 de enero de 2009, la agricultura ecológica se encuentra regulada por el Reglamento (CE) 834/2007 el Consejo sobre producción y etiquetado de los productos ecológicos y por el que se deroga en el Reglamento (CEE) 2092/91 y por los Reglamentos: R(CE) 889/2008 de la Comisión, por el que se establecen disposiciones de aplicación del R(CE) 834/2007 con respecto a la producción ecológica, su etiquetado y control y R(CE) 1235/2008 de la Comisión por el que se establecen las disposiciones de aplicación del R(CE) 834/2007, en lo que se refiere a las importaciones de productos ecológicos procedentes de terceros países.

Durante el año 2010 la superficie destinada al cultivo ecológico en España era de 1.674.119 has, una cifra un 4,45% superior al ejercicio anterior y que colocó a España, por tercer año consecutivo, en el primer lugar dentro de la Unión Europea por área cultivada con agricultura ecológica (MAGRAMA. 2012).

Estos datos demuestran que nuestro país tiene la capacidad y reúne las condiciones ambientales para el desarrollo de este tipo de agricultura (Figura 1).

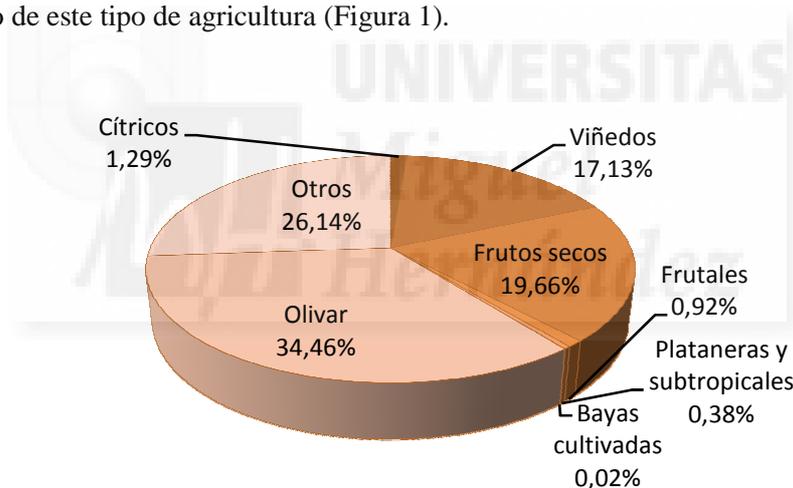


Figura 1. Superficie de agricultura ecológica (ha) por tipo de cultivo. Cultivos permanentes (Ministerio de agricultura, alimentación y medio ambiente, 2013).

En la región mediterránea la degradación de los suelos por erosión (Figura 2) es responsable de la pérdida de hasta 21 g C m<sup>2</sup> superficie (Has) (Farage y col. 2009), o hasta un 19% de disminución de carbono orgánico total en los tratamientos sin fertilización orgánica (Morlat y Chaussod. 2008), esto implica que cultivos que no agreguen algún tipo de enmienda de materia orgánica verán disminuida la concentración de carbono en los suelos (Sánchez-Marañón y col. 2002).

Las prácticas agrícolas para reducir la pérdida de materia orgánica en el suelo son muy recomendadas para agro-sistemas mediterráneos, con el objetivo de mejorar las propiedades físico-químicas y biológicas del suelo (García-Orenes y col. 2010).

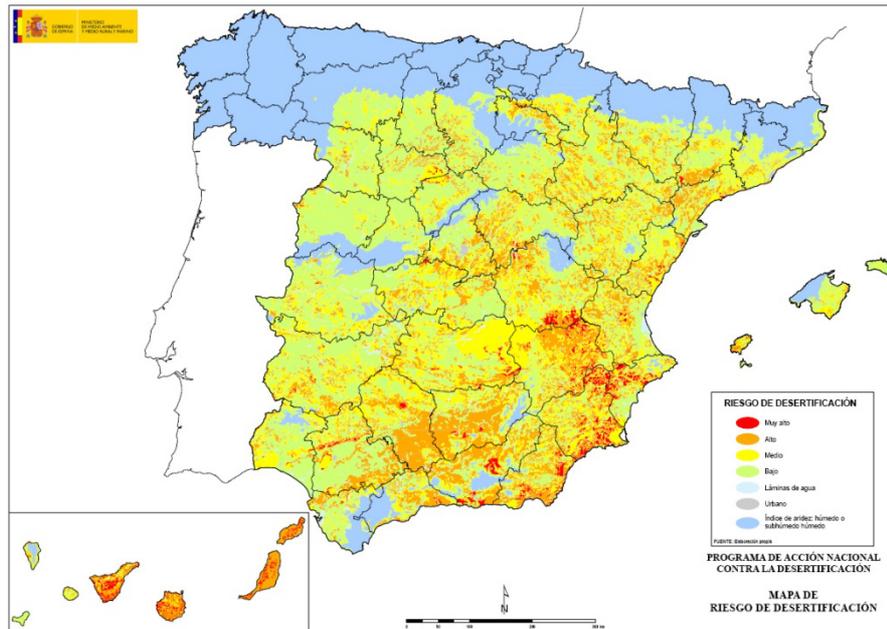


Figura 2. Mapa del riesgo de desertificación en España (MAGRAMA, 2010).

Esta necesidad ha llevado a la aplicación continua de fertilizantes inorgánicos, con las consecuencias en las reacciones bioquímicas del suelo que ello implica, afectando a algunas actividades enzimáticas y a la comunidad microbiana (Jangid y col. 2008).

Alternativamente surge la opción de abonos orgánicos como: estiércol de caballo, oveja, restos de alimentos, de cultivos de hongos, de podas y compostajes varios, que debidamente tratados y caracterizados, disminuyen notablemente los riesgos asociados a los fertilizantes inorgánicos, aumenta significativamente la actividad microbiológica del suelo, el contenido de materia orgánica, estabilidad de agregados, facilita la generación de complejos de cambio arcillo-húmico y dota de textura a suelos degradados (García-Orenes y col. 2010).

Respecto a la utilización de productos fitosanitarios, el uso excesivo puede tener efectos no deseables y es imprescindible que estos efectos no sean peligrosos para la salud humana, ni tampoco que lleguen a presentar niveles de riesgo inaceptables para el medio ambiente, incluido la flora y la fauna silvestres (Morugán-Coronado. 2016)

En consecuencia el Estado aplica los mecanismos necesarios para que sólo puedan comercializarse aquellos productos fitosanitarios que sean útiles y eficaces para combatir las plagas, pero que no comporten otros riesgos colaterales. Para que un producto pueda comercializarse debe estar autorizado previamente e inscrito necesariamente en el Registro Oficial de Productos Fitosanitarios.

Por ello, esta práctica tiene un uso muy restringido en la agricultura ecológica y se limita a cultivos y situaciones en las que otros manejos, más sostenibles, comprometerían seriamente la producción.

El uso de estos productos está regulado por El Real Decreto 1311/2012, de 14 de septiembre, por el que se establece el marco de actuación para conseguir un uso sostenible de los productos fitosanitarios (MAGRAMA. 2016).

Por otro lado, otra práctica común es la eliminación de plantas adventicias. Es una práctica más habitual en cultivos tradicionales y se lleva a cabo mediante el uso de herbicidas, arrancado manual o maquinaria agrícola, siendo esta última usada también en cultivos ecológicos. Esto supone una agresión directa sobre el ecosistema suelo y trae consigo otra serie de perjuicios a corto y largo plazo:

- Expone la micro-fauna a la superficie y a sus depredadores, limitando su importante función de dotar de estructura al suelo mediante sus galerías y poros, además de su labor detritívora y descomponedora.
- Desestabiliza los agregados del suelo, desecándolos y fracturándolos, de igual forma que a las comunidades de hongos, siendo ambos de suma importancia para la comunidad microbiana y actividades enzimáticas.
- Aumenta su superficie específica, por lo que más cantidad de suelo queda expuesto, y la evapotranspiración se ve incrementada, pudiendo generar problemas de salinidad en el suelo.
- Crea rodaduras de compactación en los cultivos a largo plazo eliminando la cobertura vegetal, lo que incrementa la erosión y la pérdida de suelo, debido al efecto de la lluvia el aire y la escorrentía superficial.

Estas prácticas de eliminación de plantas adventicias podemos sustituirlas por siembras de cultivos de cobertura, evitando así la eliminación de la vegetación y ahorrando el gasto que ello supone. Las leguminosas, por su capacidad de fijar nitrógeno son un buen cultivo de cobertura. Este grupo de plantas es capaz de establecer relaciones simbióticas con ciertas bacterias del suelo (rizobios), formando en sus raíces unos órganos especializados denominados nódulos. En los nódulos, los rizobios son capaces de utilizar el nitrógeno atmosférico y reducirlo a amonio, en un proceso denominado fijación de nitrógeno. Este amonio es utilizado por la planta como fuente de nitrógeno,

mientras que ésta aporta a la bacteria el carbono procedente de la fotosíntesis (Arrese-igor y Becana. 2008).

### 1.3. Cultivo ecológico de cítricos en las regiones del Mediterráneo.

Los cítricos son la fruta de mayor importancia a nivel mundial (Agustí. 2000). De las regiones productoras, el Mediterráneo y, concretamente, España es una de las zonas cítricas más importantes (Figura 3). Dentro de las zonas más intensivas se complica la situación de este tipo de cultivos por la presencia de residuos de fitosanitarios y de abonos químicos que contaminan los alimentos y el entorno; el empobrecimiento de los suelos; su erosión y otros impactos negativos sobre el medio ambiente.

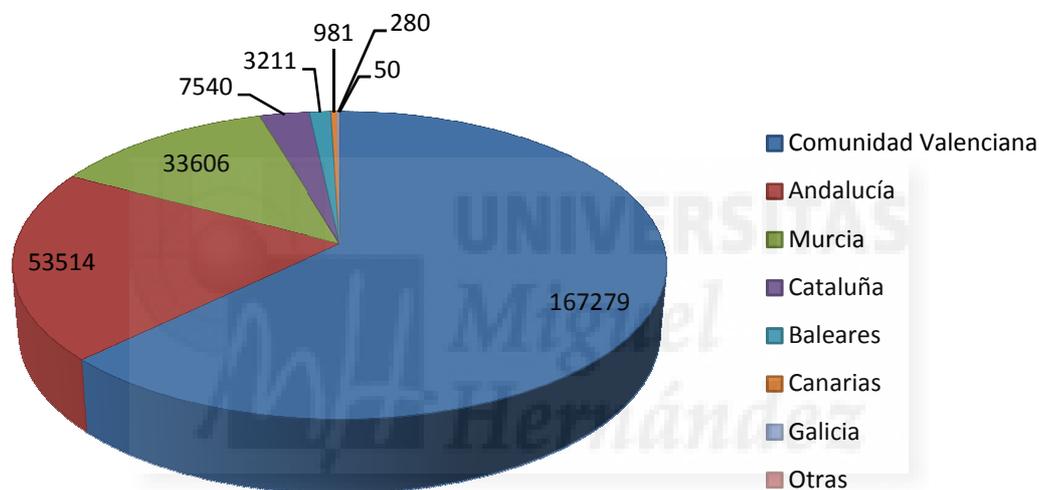


Figura 3. Superficie de cítricos en España (ha) en plantación regular por comunidades autónomas (MAPA – INE, 2005).

Los cítricos crecen mejor en terrenos profundos (Loussert. 1992) por su gran sistema radicular, de al menos 1 m (2 m en suelos arenosos) y tienen más del 50% de las raíces en los 50 primeros cm. Las carencias más importantes que podemos encontrar en un cultivo de cítricos son las de nitrógeno, hierro, magnesio o zinc. Para evitar estos inconvenientes, existen algunos complementos que suelen utilizarse en mayor o menor medida en los cítricos ecológicos. Se puede recurrir a complementos minerales naturales como son los extractos de algas, que gracias a su elevado contenido en fibra, macro y micronutrientes, aminoácidos, vitaminas y fitohormonas vegetales, actúan como acondicionador del suelo y contribuyen a la retención de la humedad. Además, por su

contenido en minerales, estos extractos son un fertilizante útil y una fuente de oligoelementos más concentrados (MAGRAMA. 2001).

Las necesidades de los cítricos en agricultura ecológica son las mismas que sus homólogos tratados de manera tradicional; sin embargo, una vez se ha conseguido restaurar los equilibrios microbiológicos del suelo, pueden ser algo menores, ya que los microorganismos edáficos facilitan la absorción de nutrientes (Domínguez. 2001).

Por tanto, en la agricultura ecológica de cítricos, la biodiversidad es un pilar básico para el mantenimiento de fertilidad y sanidad del cultivo.

La diversidad microbiana propicia la presencia de microorganismos con actividad fisiológica específica, pudiendo encontrar bacterias y hongos beneficiosos, en cuya presencia es factible la obtención de incrementos significativos en el crecimiento vegetal y otras mejoras de la calidad del suelo (Alarcón y Ferrera-Cerrato. 2000).

#### *1.4. Indicadores de calidad del suelo. La diversidad microbiana.*

La calidad del suelo debe interpretarse como la utilidad del suelo para un propósito específico en una escala amplia de tiempo (Carter y col. 1997). A pesar de la preocupación creciente acerca de la degradación del suelo, de la disminución en su calidad y de su impacto en el bienestar de la humanidad y el ambiente, aún no hay criterios universales para evaluar los cambios en la calidad del suelo (Arshad y Coen. 1992). Para hacer operativo este concepto, es preciso contar con variables que puedan servir para evaluar la condición del suelo. Estas variables se conocen como indicadores. Los indicadores de calidad del suelo son parámetros medibles que informan sobre la capacidad del suelo para llevar a cabo sus funciones ambientales y la producción agronómica. Los atributos más sensibles a las prácticas que se llevan a cabo sobre el suelo son los más deseables como indicadores (Arshad y Martin. 2002).

Los microorganismos resultan indispensables en el correcto desarrollo y conservación del suelo. Las interrelaciones de estos organismos con el medio abiótico y las sucesiones de los microorganismos durante la descomposición de la materia orgánica son parte del proceso autorregulador que determina el funcionamiento del suelo. Por tanto, en la búsqueda de indicadores de calidad adecuados es necesario incluir parámetros que representen los enlaces entre el medio biótico y abiótico (Anderson. 2003). En este sentido, resulta evidente la importancia de indicadores relativos a la biodiversidad y la estructura de las comunidades microbianas son indicadores potenciales del funcionamiento y sostenibilidad del ecosistema, ya que son indicadores sensibles y responden de forma rápida y directa a los cambios en el medio.

En los últimos años se han desarrollado otras técnicas para estudiar la diversidad microbiana como son el método de la extracción de los ácidos grasos fosfolipídicos de las membranas microbianas (PLFA, del inglés phospholipid fatty acid). Este método aporta información sobre la diversidad funcional microbiana, pudiendo determinar el potencial de la comunidad microbiana edáfica.

Los ácidos grasos fosfolipídicos son componentes esenciales de todas las células vivas, ya que estas moléculas se degradan rápidamente tras la muerte celular. Por tanto, mediante la detección de cambios en el patrón de los PLFAs se pueden caracterizar cambios en la estructura de la comunidad microbiana (Zornoza. 2006), utilizando como indicadores los PLFA que aparecen en la tabla 2.

Con la extracción de los PLFAs del suelo se obtiene un perfil de la comunidad microbiana edáfica, algo que resulta muy útil en la caracterización del suelo y es indicativo de su calidad agrícola. El estudio de la abundancia de los diferentes PLFAs del suelo nos sirve para identificar el estado de la comunidad microbiana en el mismo, así como su respuesta ante diferentes usos o manejos (Zornoza y col. 2009; García-Orenes y col. 2013)

Tabla 2. PLFA usados como indicadores de los diferentes grupos de microorganismos.

Grupos	PLFA*	Referencia
Bacterias	i 15:0, 15:0, a 15:0, i 16:0; 16:1 $\omega$ 7; i 17:0; a 17:0, 17:cy, 17:0; 18:1 $\omega$ 7; 19:0 cy	Frostergard y col. 1993
Hongos	18:2 $\omega$ 6, 18:1 $\omega$ 9c	Federle, 1986
Bacterias Gram-	cy 17:0, 18:1 $\omega$ 7c, cy 19:0, 17:1 $\omega$ 9c, 16:1 $\omega$ 9c, 18:1 $\omega$ 9c, 15:1 $\omega$ 4c	Zelles y col. 1994
Bacterias Gram+	i 14:0, i 15:0, a 15:0, i 16:0, i 17:0, a 17:0	Zelles y col. 1994
Actinobacterias	10 Me 16:0, 10 Me 17:0, 10 Me 18:00	Zelles y col. 1994
Hongos micorrícicos vesículoarbusculares (hongos VA)	16:1 $\omega$ 5	Olsson y col. 1995
Protozoos	20:2 $\omega$ 6,9c, 20:3 $\omega$ 6,9,12c, 20:4 $\omega$ 6,9,12,15c	White y col. 1996

\* PLFA: Ácidos grasos fosfolipídicos.

## 2. OBJETIVOS

Mediante el presente estudio se pretende evaluar las diferencias producidas por distintos manejos agrícolas sobre un mismo tipo de suelo, determinando sus efectos sobre la calidad del mismo.

1. Estudiar la variación de las propiedades físico-químicas: estabilidad de agregados, materia orgánica y nutrientes, entre dos tipos de manejo sobre suelos agrícolas: Ecológico y tradicional.
2. Analizar la respuesta microbiana del suelo, monitorizando el carbono de la biomasa microbiana, respiración edáfica basal, actividades enzimáticas y la biodiversidad microbiana en los dos tipos de manejo agrícola.
3. Establecer el manejo agrícola más sostenible desde el punto de vista de la calidad del suelo.



### 3. MATERIAL Y MÉTODOS

#### 3.1. Descripción de la zona de estudio.

##### 3.1.1 Localización.

El área de estudio se encuentra en una zona agrícola en la provincia de Alicante, al sur del municipio de Bigastro y a unos 8,5 km de la ciudad de Orihuela. Basándonos en el geoido ETRS.89, las coordenadas UTM para el huso 30 son: X=686474 m; Y=4213241m con una altitud media sobre el nivel del mar de 53m. Dentro de la finca de estudio (figura 4) encontramos dos zonas de cultivo de limonero (*Citrus limon*) de la variedad “verna”.

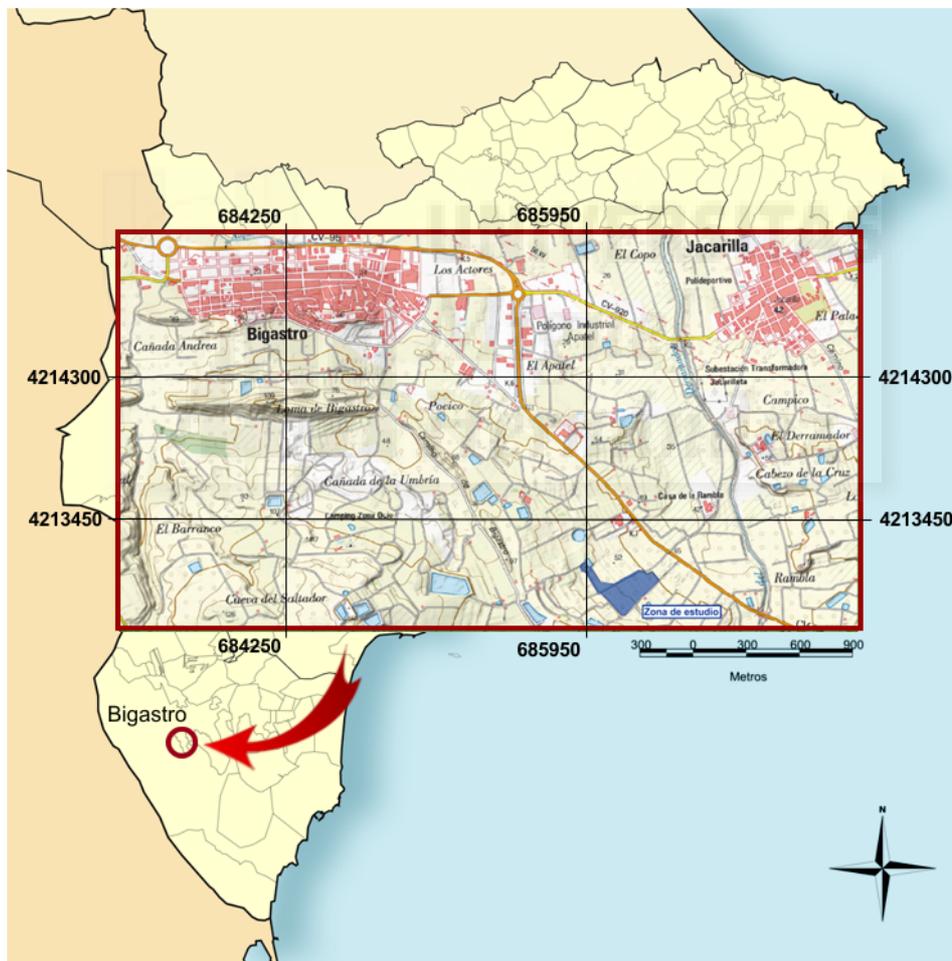


Figura 4. Localización y georeferenciación del área de estudio. La zona destacada en azul corresponde a las dos parcelas agrícolas seleccionadas para este estudio.

### 3.1.2. *Clima.*

Dado que no hay una estación meteorológica en el municipio de Bigastro, para este estudio se han utilizado los datos correspondientes a la ciudad de Orihuela.

Esta localidad se ubica en las tierras más meridionales de la Comunidad Valenciana, más concretamente en la comarca conocida como Bajo Segura, y está caracterizada por el predominio de un clima mediterráneo de tránsito al clima desértico, cálido y seco, de escasas precipitaciones. Como se observa en la figura 5, en lo que a temperaturas corresponde, la media anual en Orihuela se sitúa en los 17,6°C. Los inviernos son suaves, siendo el mes de enero con 11,1°C el mes más frío, seguido de un verano muy caluroso, ya que tanto el mes de julio como el de agosto superan los 24°C (julio, 24,9°C; agosto 25,5°C), con temperaturas máximas medias de 30,3°C y 30,9°C respectivamente. Sin embargo, la amplitud del término municipal oriolano incide en que existan diferencias térmicas entre territorios alejados. En cuanto a las precipitaciones, este territorio destaca por unas condiciones de aridez generalizadas, con medias anuales que no alcanzan los 300 mm. Existe un pico pluviométrico en otoño, donde octubre es el mes más lluvioso. Estas lluvias pueden tener carácter torrencial y provocar inundaciones.

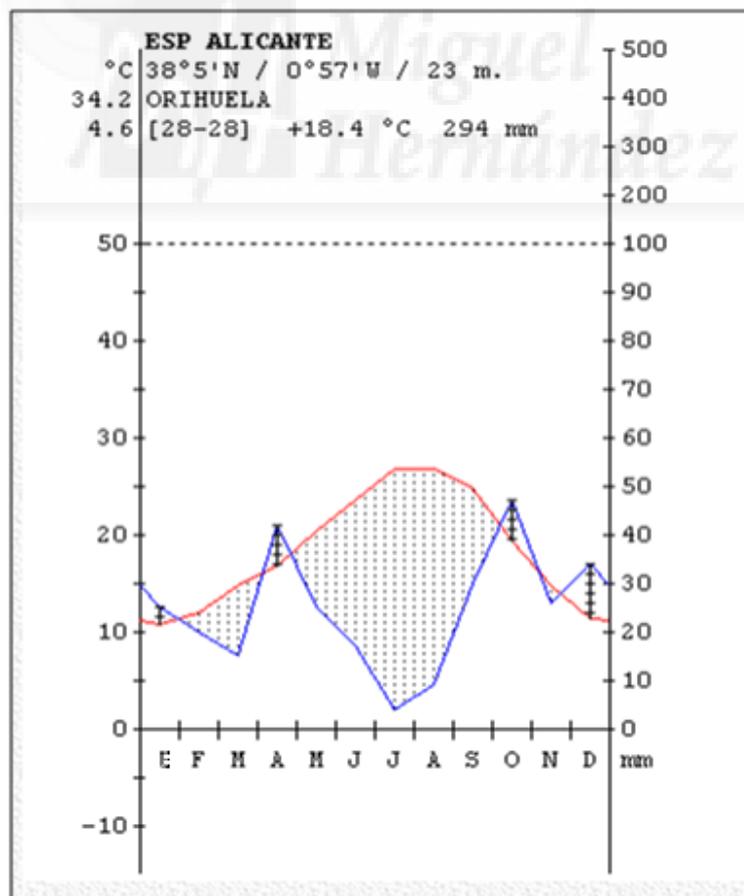


Figura 5. Diagrama bioclimático de Orihuela, años 1996-2009. (UCM y CIF)

### 3.1.3. Geología y geomorfología.

El término municipal de Orihuela se encuentra inserto dentro de las denominadas Cordilleras Béticas, en el extremo oriental de las mismas. Posee las características propias de la orogénesis alpina, con gran presencia de mantos de corrimiento, cabalgamientos, y peculiares contrastes entre unidades estructurales. Estas unidades incluyen macizos montañosos y sierras mediterráneas y continentales, de naturaleza calcárea, con relieves situados por debajo de los 2017m.

### 3.1.4. Edafología.

El suelo de la zona de estudio se caracteriza por un pH básico, con una conductividad eléctrica muy variable entre los distintos puntos de muestreo, de ahí la elevada desviación estándar. Por su parte, los macronutrientes presentan valores muy similares para ambas parcelas. Para los carbonatos también se han obtenido valores prácticamente idénticos entre las dos zonas de estudio (tabla 3).

Tabla 3. Principales propiedades de los suelos agrícolas analizadas en el presente estudio (media junto con su desviación estándar). E: tratamiento ecológico; T: tratamiento tradicional.

Propiedad	E	T
CaCO <sub>3</sub> (%)	44,1± 1,5	43,9± 6,3
pH	8,1± 0,1	8,0± 0,1
CE (µS/cm)	886± 434	787± 562
Na (g/kg)	1,3± 0,1	1,1± 0,1
K (g/kg)	9,5± 0,4	11,6± 0,1
Ca (g/kg)	1,1± 0,1	1,4± 0,2

**E:** ecológico; **T:** tradicional; **CaCO<sub>3</sub>:** carbonatos **CE:** conductividad eléctrica; **Na:** sodio; **K:** potasio; **Ca:** calcio

En cuanto a la textura de los suelos, se determinaron los distintos porcentajes (figura 6) de arcilla, limo y arena, obteniendo por el método ISSS internacional de clasificación de textura del suelo uno de tipo franco-limoso para ambas parcelas.

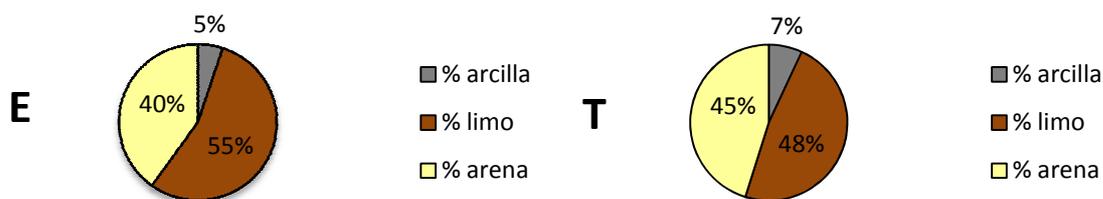


Figura 6. Caracterización de la textura de cada parcela de estudio. E (Tratamiento ecológico); T (Tratamiento tradicional).

Según la clasificación Soil Taxonomy el suelo de nuestro área de estudio es un Torriorthent.

#### CLASIFICACIÓN DEL SUELO: Torriorthent

Orden: Entisol

Suborden: Orhents

Grupo: Torriorthent

Los potentes procesos erosivos que se presentan en la provincia, causados por el régimen de humedad arídico (tórrido) y a la deforestación, provocan que parte de estos suelos sean truncados por los procesos de erosión hídrica dando lugar a perfiles sin diferenciación de horizontes que clasificamos como torriorthent (SSS. 2014).

#### 3.1.5 Paisaje.

Podríamos clasificar el paisaje en tres partes. En una primera aproximación a la zona, destaca la elevada antropización que existe, tan habitual en estas zonas del mediterráneo y fuertemente asociada a los suelos fértiles próximos al Río Segura. Por otro lado, destaca el paisaje agrícola tradicional en su entorno y pedanías, con una intensa actividad en el cultivo de cereales y cítricos que delimitan una serie de cuencas, hoyas y depresiones. Junto a estas unidades se encuentran llanos interiores utilizados tradicionalmente también para el cultivo. En último término, destaca un notable patrimonio natural, donde destacan los paisajes montanos en los relieves más destacados. En este territorio, el Río Segura juega un papel muy importante. Asimismo, los relieves como la Sierra de Callosa y Sierra de Orihuela, que también han estado sometidos a una intensa actividad agrícola de cereales y cultivos de secano, representan uno de los elementos más singulares del paisaje dentro del ámbito de la vega y de elevada importancia en la comarca.

### 3.2. *Diseño experimental.*

Para llevar a cabo este estudio se trabajó en una parcela con tratamiento ecológico (E), certificada por el CRAE (comité de agricultura ecológica de la comunidad valenciana) como tal, hace tres años, con una superficie de 7 has y otra con tratamiento tradicional (T) con un área de 1,6 has.

En la parcela E se realiza una poda anual después de la cosecha que tras ser triturada es añadida al suelo (figura 7). Además, se aplica abono ovino entre calles, durante el invierno, (4 kg/árbol) y posteriormente se lleva a cabo un labrado superficial para agregar esta enmienda al suelo. También se añade compost en el punto de riego y a través del sistema de riego por goteo. En ningún momento se aplican pesticidas ni fertilizantes inorgánicos de ningún tipo.



Figura 7. Fotografía tomada a una de las calles de la parcela agrícola con tratamiento ecológico. Autor: Diego Clavería.

En la parcela T se lleva a cabo una fertilización inorgánica (NPK: 8/4/12) mediante el riego (fertirrigación), esta parcela también es podada, pero en este caso la poda no es añadida al suelo (figura 8). Además se aplican herbicidas e insecticidas mediante un atomizador.



Figura 8. Fotografía tomada a una de las calles de la parcela con tratamiento tradicional. Autora: Alicia Morugán.

Ambas parcelas son regadas con agua proveniente del Río Segura. Este agua presenta una conductividad eléctrica bastante elevada ( $2000\mu\text{S}/\text{cm}$ ). Estos niveles pueden afectar al cultivo del limonero, ya que este presenta una sensibilidad moderada a la salinidad ( $1210\mu\text{S}/\text{cm}$ ) (Maas y Hoffman, 1977).

### 3.2.1. Toma de muestras y análisis.

El muestreo fue realizado el 15/04/2016. En ambas parcelas de estudio (E y T), se tomaron 9 muestras en los 5 primeros cm de profundidad del suelo (con un total de 18 muestras). Se tomaron submuestras que se conservaron a  $4^{\circ}\text{C}$  en una nevera para su transporte al laboratorio.

A la hora de realizar los análisis en el laboratorio, los correspondientes al carbono de la biomasa microbiana, actividades enzimáticas y respiración edáfica basal se realizaron con muestra fresca conservada a  $4^{\circ}\text{C}$ . El resto de parámetros han sido analizados con muestra de suelo secada al aire y tamizada con una luz de malla de 2 mm, excepto la medida de los agregados estables que se usó muestra seca tamizada entre 4 mm y 0,25 mm.

Como propiedad física, se analizó la proporción de agregados estables (EA) como un indicador de la estructura del suelo. Dentro de las propiedades químicas se analizaron el pH, la conductividad eléctrica (CE), el porcentaje de materia orgánica (MO), el fósforo asimilable (P) y el nitrógeno Kjeldhal (N). En relación con las propiedades biológicas, se analizaron el carbono de la biomasa microbiana (CMB), la respiración edáfica basal (REB) y las enzimas Ureasa,  $\beta$ -Glucosidasa ( $\beta$ -Glu) y la Fosfatasa (PHP).

La MO se midió mediante oxidación con dicromato potásico y posterior valoración con sulfato ferroso amónico (Walkley y Black, 1934), la CE fue determinada también en extracto acuoso con agua desionizada (1:5 p/v), la EA fue cuantificada usando el método del simulador de lluvia de Roldán y col. (1994) basado en Benito y col. (1986), el CMB fue determinado mediante el método de fumigación-extracción adaptado de Vance y col. (1987), la REB fue monitorizada con un respirómetro multisensor (Micro-Oxymax, Columbus, OH, USA), que mide el  $\text{CO}_2$  liberado mediante un sensor infrarrojo, el pH fue medido en extracto acuoso con agua desionizada (1:2,5 p/v), el P se determinó con el método de Burriel-Hernando (Díez, 1982), para determinar N (orgánico y amoniacal), se utilizó el método Kjeldahl. Para las enzimas  $\beta$ -Glu se utilizó el método de Tabatabai (1982), la actividad Ureasa se determinó mediante el método de Nannipieri (1980) y PHP por el método de Tabatabai y Bremer (1969). Para estudiar la diversidad microbiana se utilizó el método de la extracción de los ácidos grasos fosfolípidicos de las membranas microbianas (PLFA) (Bossio y col. 1998).

### 3.3 Análisis estadístico

El ajuste de las propiedades analizadas a una distribución normal se verificó mediante el test de Kolmogorov-Smirnov. La hipótesis nula planteada es que el manejo agrícola ecológico afecta positivamente a las propiedades del suelo, por lo que alguno de los parámetros varía en función del tratamiento. La hipótesis alternativa es que el manejo agrícola ecológico no afecta directamente a las propiedades del suelo.

Para evaluar el efecto del manejo ecológico en las propiedades del suelo, se efectuó una t-Student o Test-T. La separación de medias fue realizada según el test post-hoc Tukey a  $P < 0,05$ , asumiendo varianzas iguales.

Se realizó un análisis de componentes principales (PCA) con todos los datos correspondientes a las propiedades del suelo, para estudiar la estructura de dependencia y correlación entre las variables. El análisis de componentes principales es un método estadístico multivariante de simplificación o reducción de la dimensión de una tabla de variables con datos cuantitativos, para obtener otra de menor número de variables, combinación lineal de las primitivas, que se denominan componentes principales o factores (Pérez, 2001). Por tanto, los componentes principales obtenidos fueron usados como nuevas variables para la realización de un análisis discriminante. Todo el análisis estadístico fue realizado con el programa SPSS (IBM SPSS statistics 2016) versión 19.0.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados que se muestran a continuación son los correspondientes al análisis de los parámetros físicos, químicos y biológicos del suelo de estudio.

### 4.1. Propiedades físico-químicas.

#### 4.1.1. Conductividad eléctrica.

La conductividad eléctrica muestra unos valores parecidos para ambas parcelas (886 $\mu$ S/cm para el suelo con manejo ecológico y 787 $\mu$ S/cm para el tradicional), pero con una elevada desviación estándar (figura 9). No existen diferencias estadísticamente significativas para este parámetro después de realizar una t-Student.

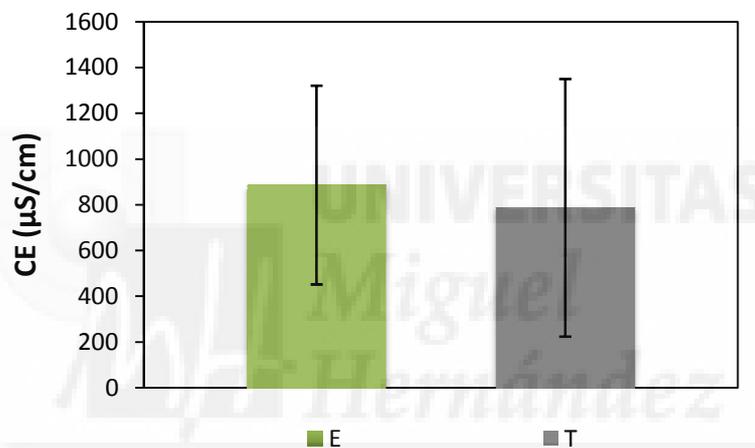


Figura 9. Valor medio de la conductividad eléctrica en  $\mu$ S/cm en los suelos con diferentes manejos.

(E: Ecológico; T: Tradicional).

Como ya se ha comentado (punto 3.2) el agua de riego posee una gran conductividad eléctrica que puede explicar la gran disparidad en los valores de CE obtenidos. Por otro lado, no se ha encontrado ninguna correlación entre la CE y el resto de propiedades estudiadas, por lo que suponemos que el elevado contenido en sales en ambas parcelas puede ser debido a lo aportado por el agua de riego.

#### 4.1.2. pH.

En cuanto al pH de las parcelas agrícolas estudiadas, observamos en la figura 10 que el pH de las parcelas es de carácter básico, con valores muy similares entre ellas y sin diferencias estadísticamente significativas después de realizar un análisis t-Student.

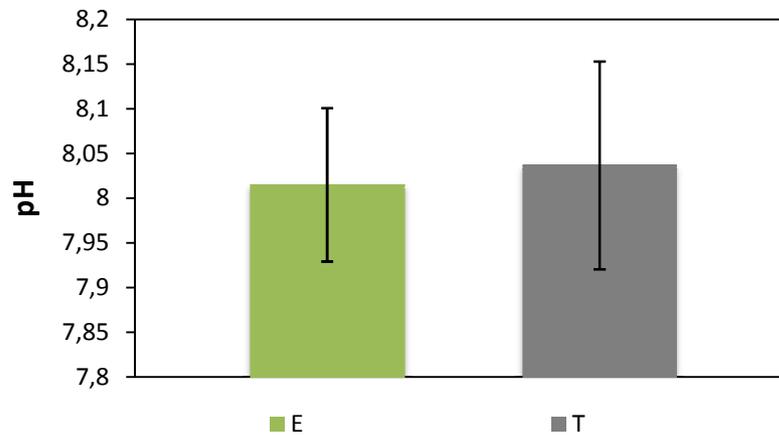


Figura 10. Valores medios ( $\pm$  desviación estándar) de pH en los suelos con diferentes manejos.  
(E: Ecológico; T: Tradicional).

En general las enmiendas orgánicas tienden a estabilizar el suelo en valores de pH neutros o ligeramente básicos. Dado el poco tiempo que lleva el suelo agrícola ecológico con este tipo de enmiendas no se ha observado una correlación entre los parámetros de pH y MO. Es de esperar que en los suelos neutros o básicos, como es el caso de nuestro suelo estudiado, la adición de materia orgánica provoque ligeros cambios apreciables de pH a largo plazo, por lo que también es previsible que contribuya a la mejora del poder amortiguador del suelo (Guerrero y col. 2007).

## 4.2. Propiedades químicas.

### 4.2.1. Materia orgánica.

A la vista de la figura 11, vemos como el contenido en materia orgánica es superior en la parcela con manejo ecológico (E) con un valor del 3,52%, un punto superior al valor obtenido para la otra parcela, cuyo valor es del 2,49%.

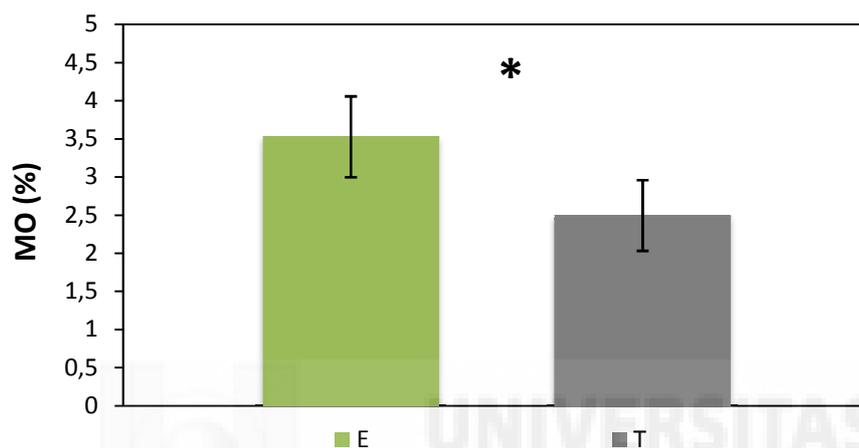


Figura 11. Valores medios ( $\pm$  desviación estándar) de la materia orgánica en los suelos con diferentes manejos. \*: Diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ) entre tratamientos. (E: Ecológico; T: Tradicional).

Esta diferencia entre el tratamiento ecológico y el tradicional, es corroborado por otros estudios (Peregrina y col. 2009) en los que mediante tratamientos de cubiertas vegetales y mulch con mínimo laboreo, aumentaron notablemente el contenido de MO respecto a los tratamientos convencionales con laboreo intenso. Otro estudio realizado durante cuatro años también observó una mejoría relevante en el contenido de carbono del suelo tras haber aplicado una enmienda orgánica (Lynch y col. 2005).

#### 4.2.2. Fósforo asimilable.

Como vemos en la figura 12, el porcentaje de fósforo en el suelo con el tratamiento tradicional es superior, con un valor del 0,009%. mientras que el suelo con tratamiento ecológico el valor máximo es de 0,007%.

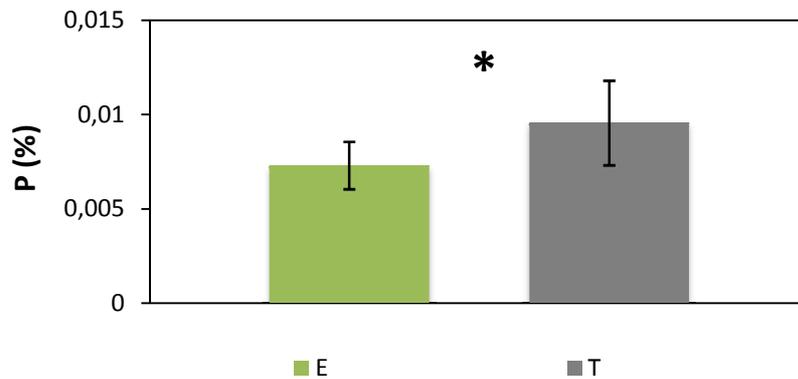


Figura 12. Valores medios ( $\pm$  desviación estándar) de fósforo asimilable en los suelos con diferentes manejos. \*: Diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ) entre tratamientos. (E: Ecológico; T: Tradicional).

A la vista de la figura 12, las diferencias entre ambos tratamientos son estadísticamente significativas, dando a entender que la fertirrigación inorgánica está siendo más efectiva que la aplicación de abonos orgánicos. El uso de fertilizantes inorgánicos con elevado contenido en fósforo en la parcela agrícola con tratamiento tradicional provocan este aumento significativo de la concentración de fósforo. Por otro lado, la baja eficacia de los abonos orgánicos se puede explicar por el corto periodo de tiempo que se lleva aplicando esta práctica en la parcela ecológica (ver apartado 3.2)

#### 4.2.3. Nitrógeno Kjeldahl.

En lo referente al nitrógeno Kjeldahl (figura 13), el valor más alto lo encontramos en la parcela con manejo ecológico, con un valor del 0,15%, mientras que en la parcela con tratamiento tradicional, el valor máximo es del 0,13%. Tras el análisis estadístico se ha observado las diferencias entre las dos parcelas no son estadísticamente significativas.

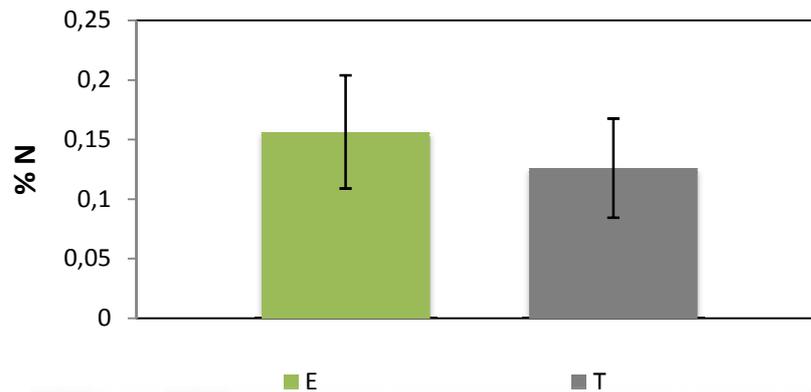


Figura 13. Valores medios ( $\pm$  desviación estándar) de Nitrógeno Kjeldahl en los suelos con diferentes manejos. (E: Ecológico; T: Tradicional).

A pesar de que en nuestro estudio no se aprecian diferencias estadísticamente significativas, si encontramos una correlación positiva de  $R= 0,64$  entre la MO y el N (anexo 1).

Un estudio realizado por Ryals y col. 2014 demostró que los suelos donde habían sido aplicadas enmiendas orgánicas aumentaron el contenido en nitrógeno considerablemente y el ratio C/N (13,1 para la parcela ecológica y 11,5 para la tradicional) lo cual favorece una liberación lenta de los nutrientes para que estos, sean aprovechados por las plantas y no sean lixiviados (FAO. 2010).

En nuestro estudio se ha de tener en cuenta el poco tiempo que se lleva haciendo el manejo ecológico y es de esperar que como se ha comentado anteriormente, a largo plazo, el contenido en N aumente debido a la aplicación de enmiendas orgánicas.

#### 4.2.4. Macronutrientes

Respecto a los macronutrientes, en la figura 14 podemos observar los resultados obtenidos para el sodio, potasio, calcio y magnesio. Para el sodio y el magnesio no se han obtenido diferencias estadísticamente significativas entre ambos manejos agrícolas. El sodio por su parte presenta valores muy similares en ambas muestras, mientras que en el magnesio, a pesar de existir una pequeña diferencia entre los suelos agrícolas con distinto manejo, no llega a ser significativa estadísticamente.

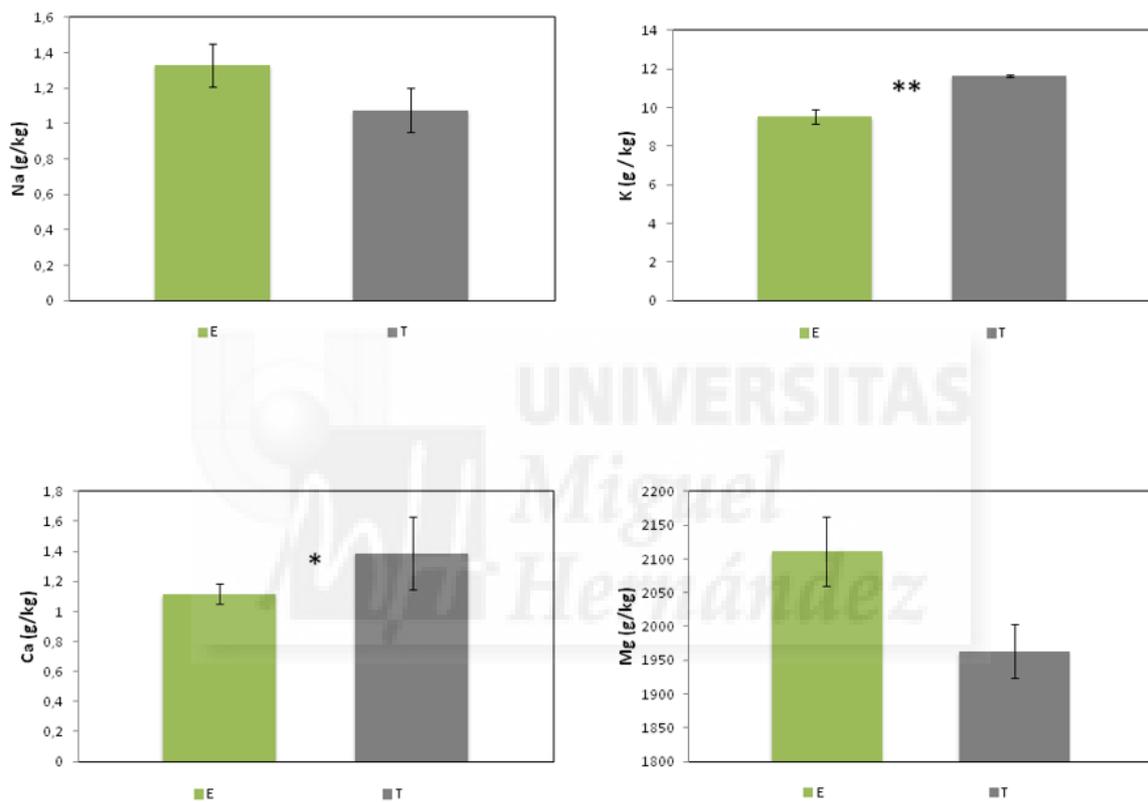


Figura 14. Valores medios ( $\pm$  desviación estándar) de los distintos macronutrientes analizados (Na, K, Ca, Mg) en los suelos con distintos manejos. Asteriscos indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos. \*: (p<0,05), \*\*: (p<0,001). (E: Ecológico; T: Tradicional).

El potasio muestra su valor más alto en el suelo con manejo tradicional, con un valor de 11,6 g/kg, dos puntos por encima del valor obtenido para el suelo ecológico. Además, esta diferencia si es estadísticamente significativa, por lo que la fertilización inorgánica está siendo más efectiva que la aplicación de abonos orgánicos. El calcio por su parte también muestra diferencias significativas, obteniendo un valor máximo de 1,39 g/kg en el suelo con manejo tradicional.

Cabe destacar que el K y Ca, tienen una correlación positiva entre sí de  $R=0,67$  (anexo 1).

### 4.3. Propiedades físicas.

#### 4.3.1. Agregados estables.

Respecto a los agregados estables, en la figura 15 se pueden observar los diferentes valores para los dos manejos agrícolas. El valor más elevado se observa en la parcela correspondiente al manejo ecológico (E) con un 42,14%. Por su parte, la parcela con manejo tradicional alcanza un porcentaje de agregados estables del 26,5%. Tras realizar un análisis t-Student, si se observan diferencias significativas entre ambos tratamientos.

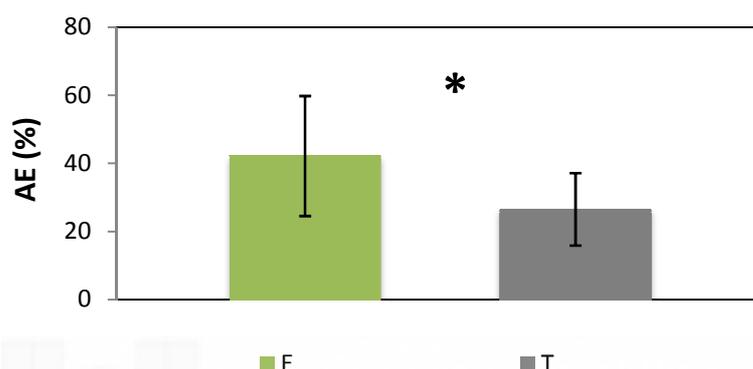


Figura 15. Valores medios ( $\pm$  desviación estándar) de los agregados estables en los suelos con diferentes manejos. \*: Diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ) entre tratamientos. (E: Ecológico; T: Tradicional).

A pesar de la elevada conductividad eléctrica de nuestro de agua de riego (apartado 3.2) no observamos un empeoramiento en la estabilidad de agregados durante el periodo de estudio. Tampoco se obtuvo una correlación entre estos dos parámetros (anexo 1).

Como se ha comentado en el apartado de diseño experimental, el suelo con manejo ecológico solo lleva 3 años certificado como tal, pero ya en la figura 15 vemos una mejora en los AE de dicha parcela. Aunque en nuestro estudio no se ha apreciado una correlación entre los AE y la MO, diversos estudios han demostrado que tras aplicar residuos orgánicos al suelo se favorece una mejora en su estructura, ya que la carga orgánica añadida promueve la agregación del suelo (Roldán y col. 1994; Lax y col. 1997; García-Orenes y col. 2009).

#### 4.4. Propiedades microbiológicas.

##### 4.4.1. Carbono de la biomasa microbiana.

En la figura 16 se muestra el contenido de biomasa de los suelos estudiados en función del tratamiento agrícola. Como podemos observar la parcela con el manejo ecológico (E), tiene mayor contenido en carbono de la biomasa (412,5 mg C/kg) que el tratamiento T (222 mg C/ kg). Esta diferencia es estadísticamente significativa.

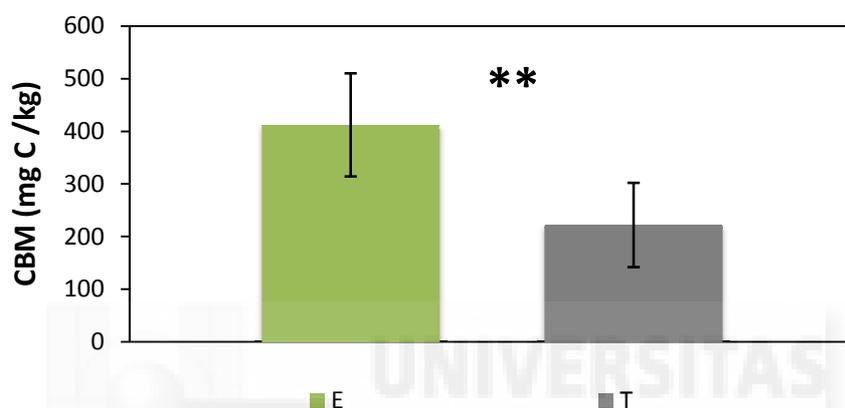


Figura 16. Valores medios ( $\pm$  desviación estándar) del carbono de la biomasa microbiana en los suelos con diferentes manejos. \*\*: Diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,001$ ) entre tratamientos. (E: Ecológico; T: Tradicional).

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).

#### 4.4.2. Respiración edáfica basal.

Como observamos en la figura 17, el parámetro analizado muestra los niveles más altos en el suelo con manejo ecológico, con un valor máximo de 1,87  $\mu\text{g}/\text{h}/\text{g}$ .

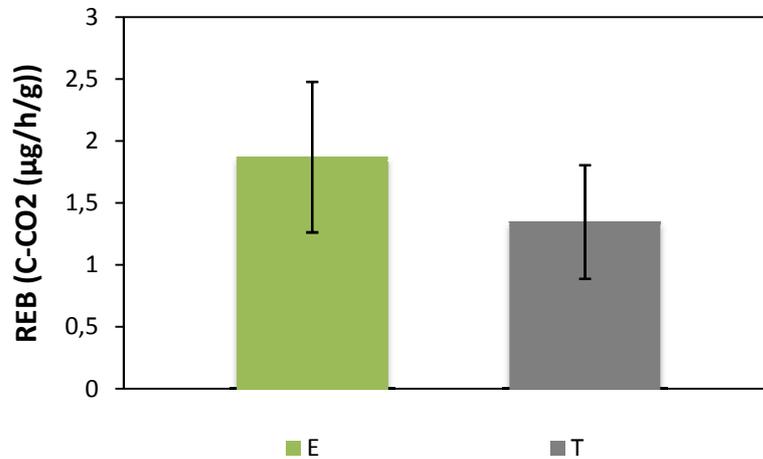


Figura 17. Valores medios ( $\pm$  desviación estándar) de la respiración edáfica basal en los suelos con diferentes manejos. E: Ecológico; T: Tradicional.

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, 1998). De este modo se puede explicar que el aporte de sustrato orgánico, ha provocado un aumento en la actividad microbiológica que se traduce en una mayor respiración microbiana en el suelo con manejo ecológico.

En nuestro estudio no observamos diferencias significativas, por lo que aunque la MO y CBM sean mayores en la parcela E, no se aprecia un incremento en la tasa de la respiración de los microorganismos del suelo, posiblemente debido a que el contenido en sales del agua de riego este afectando a esta propiedad (Morugán-Coronado. 2012), aunque no se ha observado una correlación negativa entre ambas propiedades.

#### 4.4.3. $\beta$ -Glucosidasa.

La figura 18 muestra la actividad de la enzima  $\beta$ -Glucosidasa. Podemos ver como la diferencia es estadísticamente significativa, obteniendo un valor máximo en el suelo con prácticas ecológicas ( $3,15 \mu\text{mol PNP g}^{-1} \text{h}^{-1}$ ).

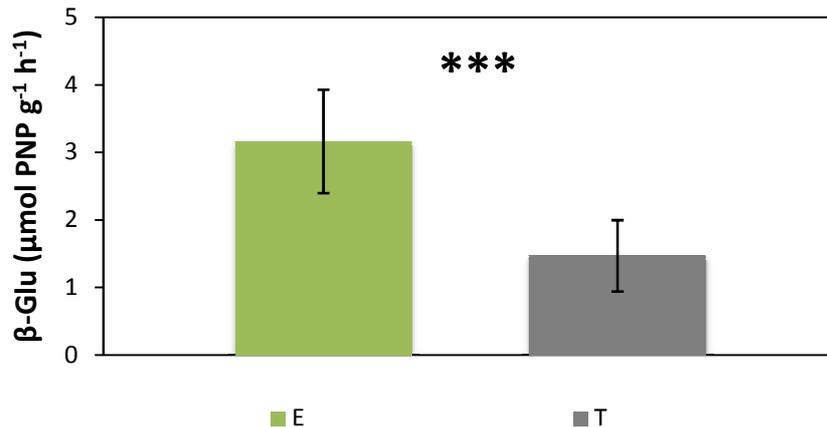


Figura 18. Valores medios ( $\pm$  desviación estándar) para la enzima  $\beta$ -Glucosidasa en los suelos con diferentes manejos. \*\*\*: Indican diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,0001$ ) entre tratamientos.

(E: Ecológico; T: Tradicional).

La actividad de esta enzima interviene directamente en el ciclo del carbono del suelo. Es la responsable en degradar la celulosa, un complejo polisacárido, y su velocidad de degradación es un buen indicador de la calidad del suelo (Cooper y Morgan, 1981).

Observamos claramente como la actividad  $\beta$ -Glu, es mayor en la parcelas con manejo ecológico (E) que en la parcela fertilizada inorgánicamente (T), este hecho se puede deber al contenido en carbono orgánico que poseen dichas parcelas (figura 11), aunque no se ha obtenido una correlación significativa entre estas dos propiedades. Tras la aplicación de enmiendas orgánicas, restos de poda y coberturas vegetales, esta actividad enzimática se ve incrementada por continuos aportes de carbono orgánico fácilmente degradable por parte de la enzima degradativa de celulosa (Filip y col. 1999; Friedel y col. 2000; Chen y col. 2008).

#### 4.4.4. Ureasa.

Respecto a la actividad de esta enzima en el suelo de estudio, no encontramos diferencia estadísticamente significativa (figura 19). Los valores son muy similares para ambas muestras, con un máximo en la parcela ecológica de  $1,75 \mu\text{mol PNP g}^{-1} \text{h}^{-1}$  y de  $1,62 \mu\text{mol PNP g}^{-1} \text{h}^{-1}$  para la parcela tradicional.

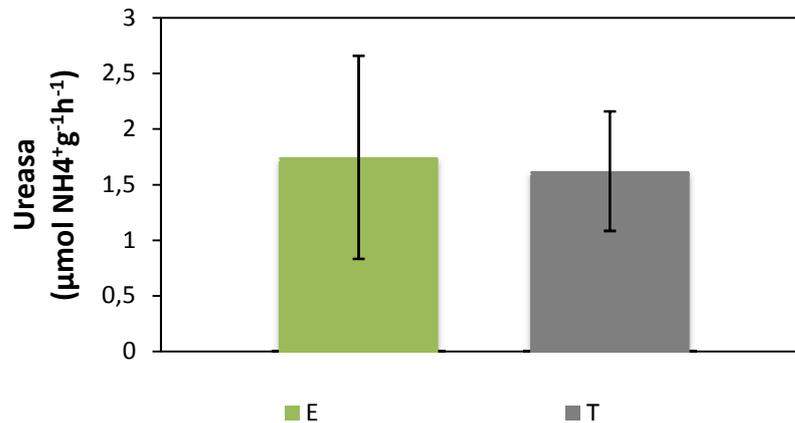


Figura 19. Valores medios ( $\pm$  desviación estándar) para la enzima ureasa en los suelos con diferentes manejos. (E: Ecológico; T: Tradicional).

La actividad de la ureasa es una de las más estudiadas junto con otro grupo de hidrolasas porque son enzimas básicas en estudios de calidad, fertilidad y en la evolución del impacto de contaminantes en el suelo. El interés de esta actividad se debe a su relación en el ciclo del N y por el uso de urea como fertilizante en la agricultura (Sastré y Lobo, 1996).

Diversos estudios han observado que tras aplicaciones continuadas de abonos orgánicos con alto contenido en N la actividad ureasa aumentaba (Acosta-Martinez. 2008). Sin embargo, a la vista de la figura 13, el contenido en N entre ambas parcelas de estudio es similar, por tanto, durante el periodo de 3 años bajo un manejo agrícola ecológico no parece ser suficiente para observar un aumento de dicha actividad (Kalender. 2008).

#### 4.4.5. Actividad fosfatasa.

En la siguiente gráfica (figura 20) observamos la actividad fosfatasa para ambos manejos agrícolas. Destaca el valor máximo para la parcela con manejo ecológico ( $2,20 \mu\text{mol PNP g}^{-1} \text{h}^{-1}$ ) bastante superior al de la parcela con manejo tradicional ( $1,32 \mu\text{mol PNP g}^{-1} \text{h}^{-1}$ ).

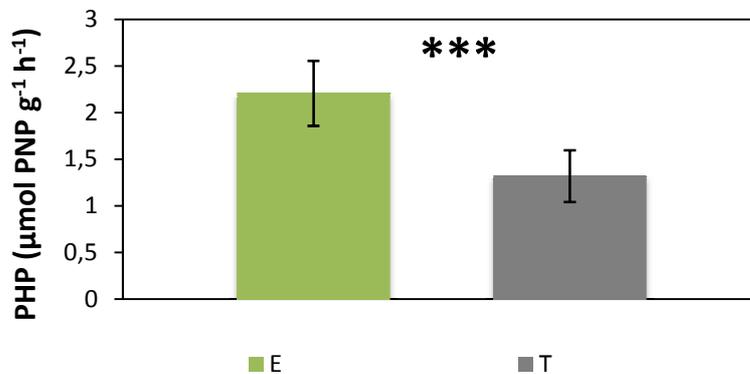


Figura 20. Valores medios ( $\pm$  desviación estándar) para la fosfatasa en los suelos con diferentes manejos.

\*\*\*: Indican diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,0001$ ) entre tratamientos. (E: Ecológico; T: Tradicional).

Esta enzima se inhibe por la presencia de P en el suelo (figura 12), es por ello que la aplicación de fertilizantes inorgánicos en el tratamiento tradicional puede estar produciendo inactividad en el mismo.

Esta diferencia estadísticamente significativa entre el tratamiento ecológico y el tradicional, puede ser debido también a la respuesta de los microorganismos del suelo tras el incremento producido por un mayor contenido de materia orgánica (correlación positiva entre PHP y MO de  $R=0,77$ ), generado por una adecuada gestión mediante tratamientos como la adición de restos de poda o mulch, abonos de oveja, y cubiertas vegetales (Satre y col. 1996; Hinojosa y col. 2004).

#### 4.4.6. Ácidos grasos fosfolipídicos (PLFAs)

La figura 21 nos muestra los resultados obtenidos para algunos de los grupos funcionales calculados a partir de los PLFAs analizados (ver tabla 2). A primera vista se observa como los valores más altos se dan para todos los grupos funcionales en la parcela con manejo ecológico, aunque solo encontramos diferencias estadísticamente significativas para los hongos (fungi) y para las bacterias gram negativas.

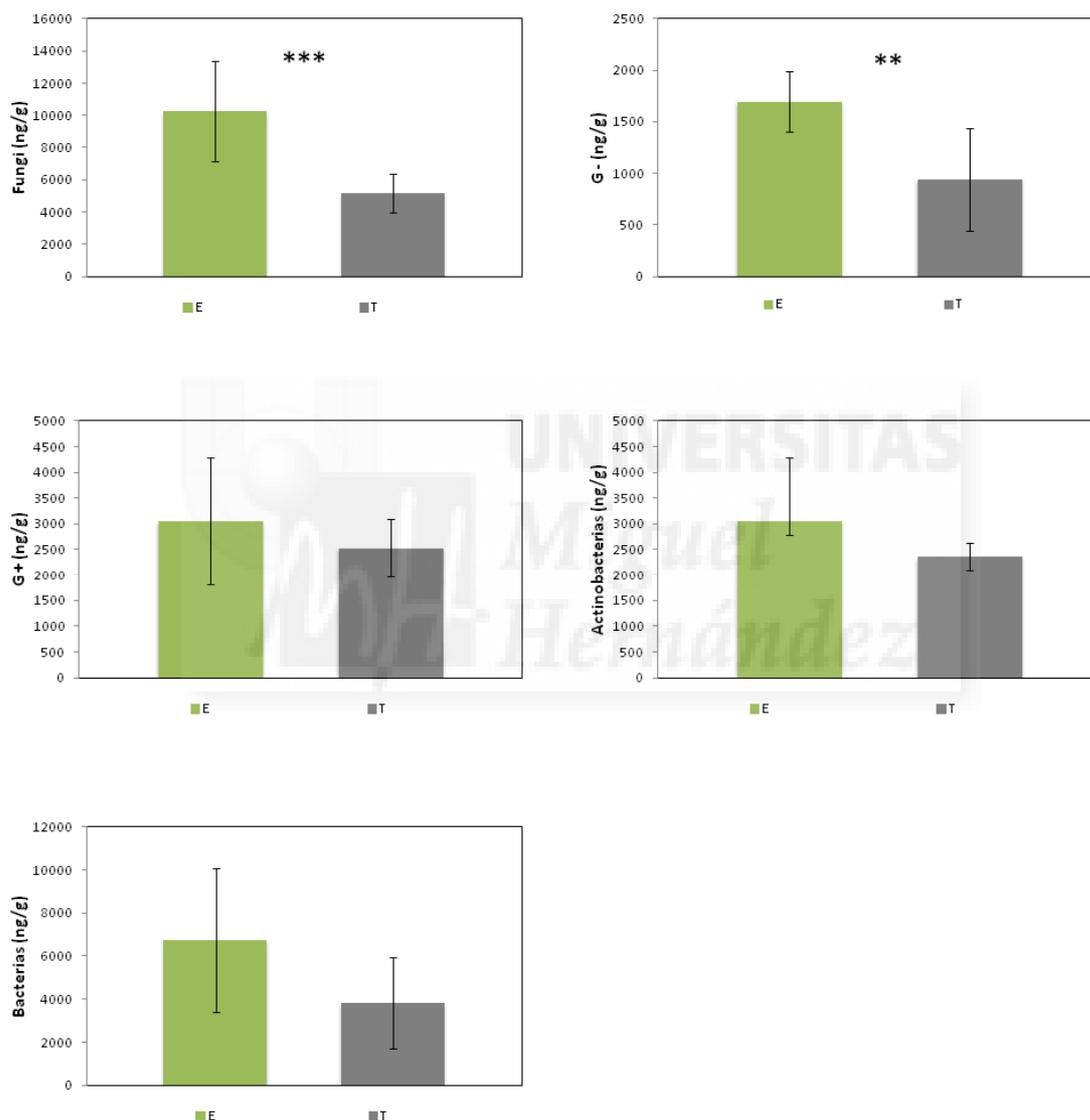


Figura 21. Valores medios ( $\pm$  desviación estándar) de los grupos funcionales obtenidos a partir de los PLFAs analizados en los suelos con diferentes manejos. Asteriscos indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos. \*\*\*: ( $p < 0,0001$ ), \*\*: ( $p < 0,001$ ). (E: Ecológico; T: Tradicional).

La mayor proporción de PLFAs identificados se corresponde con los hongos, con un valor máximo de 10257 ng/g. Este aumento de la biomasa de hongos puede ser debido a los abonos orgánicos añadidos al suelo (García-Orenes y col. 2016). Algo que puede observarse si nos fijamos en la correlación positiva entre fungi y materia orgánica ( $R=0,66$ )

Esta mayor abundancia de hongos en la composición microbiana del suelo para la parcela agrícola con manejo ecológico, puede haber facilitado la estabilización de los agregados del suelo a través de sus hifas, algo que podemos observar en la figura 15, con porcentajes más altos de agregados estables en la parcela con este tipo de manejo.

Otro de los grupos funcionales que muestra diferencias estadísticamente significativas son las bacterias gram negativas. Este incremento también puede ser explicado por las enmiendas orgánicas aplicadas al suelo. Varios estudios muestran un incremento de bacterias gram negativas después de la aplicación de este tipo de abonos en ambientes mediterráneos (García-Orenes y col. 2013)

Para las bacterias gram positivas y actinobacterias no se observan diferencias estadísticamente significativas, pero si una concentración ligeramente mayor en el suelo con manejo ecológico. A la vista de la última gráfica de la figura (bacterias) vemos como en general la biomasa bacteriana es superior para el manejo ecológico, existiendo una correlación positiva entre el total de bacterias con las bacterias gram positivas y las actinobacterias ( $R=0,91$  y  $R=0,97$  respectivamente). Por lo que con un estudio más a largo plazo, es previsible un aumento estadísticamente significativo en todos los grupos funcionales

#### 4.4.7. Total.

La figura 22 nos muestra el total de PLFAs obtenidos para las dos parcelas agrícolas con distintos manejos. Se observa como la mayor concentración de grupos funcionales se da en la parcela con manejo ecológico, obteniendo una diferencia estadísticamente significativa respecto la parcela con manejo tradicional.

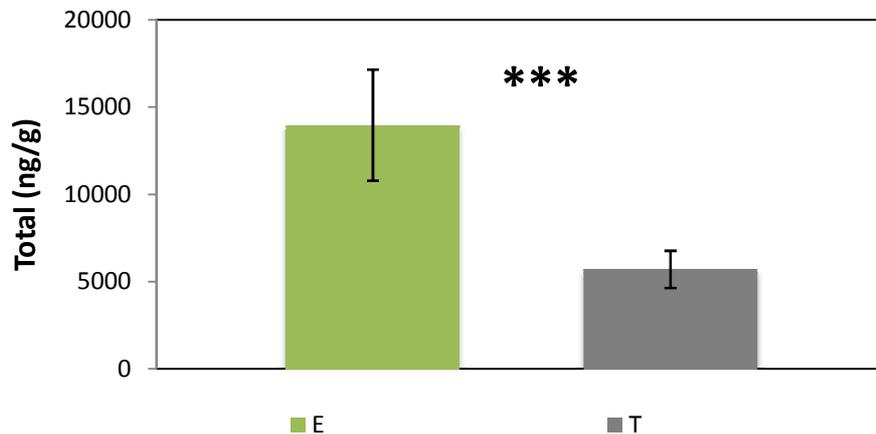


Figura 22. Total de grupos funcionales en los suelos con diferentes manejos. \*\*\*: Indican diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,0001$ ) entre tratamientos. (E: Ecológico; T: Tradicional).

Si nos fijamos en la figura 21 podemos ver como la mayor concentración de microorganismos analizados se da en la parcela con manejo ecológico (E). Como se ha comentado, las enmiendas orgánicas están directamente relacionadas con la cantidad de hongos y bacterias gram negativas por lo que es de esperar que la concentración total sea superior. Este resultado en la parcela E resulta beneficioso para el suelo y por tanto este manejo agrícola es más adecuado para incrementar la actividad microbiana del suelo y la calidad del mismo.

#### 4.5. Análisis de componentes principales (PCA).

Tras realizar un análisis de los componentes principales a partir de las propiedades del suelo estudiadas, obtuvimos una serie de factores que se muestran en la figura 23. Vemos claramente como el primer y el segundo componente extraídos separan perfectamente ambos manejos agrícolas. El componente 1 (PC1) explica el 40,7% de la varianza y separa las muestras a lo largo del eje X, mientras que el componente 2 (PC2) explica el 32,7% de la varianza y separa las muestras en el eje Y.

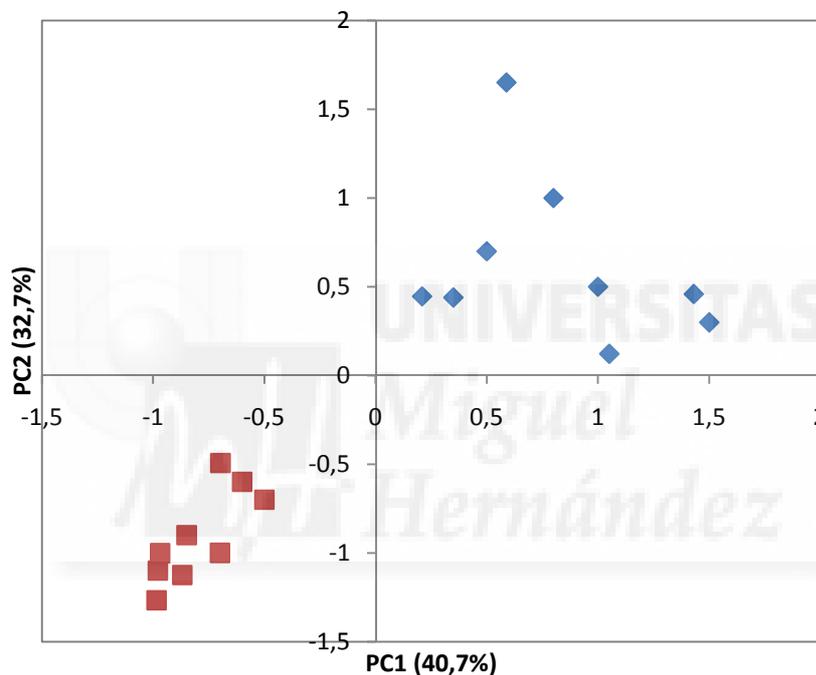


Figura 23. Puntuaciones del análisis de componentes principales de las propiedades estudiadas en los suelos bajo distinto manejo agrícola. (♦: Ecológico; ■: Tradicional).

El manejo ecológico queda en el cuadrante positivo para el eje X y para el eje Y. Por su parte, el manejo tradicional queda situado en el cuadrante negativo tanto para el eje de ordenadas como para el de abscisas. El hecho de que ambos manejos queden tan bien diferenciados demuestra la importancia de estos en las propiedades del suelo.

Tabla 4. Análisis de componentes principales de las propiedades estudiadas en los suelos bajo distinto manejo agrícola.

Propiedad	Matriz de componentes	
	1	2
<b>Bacteria</b>	<b>0.983</b>	-0.094
<b>G+</b>	<b>0.963</b>	-0.223
<b>Actino</b>	<b>0.963</b>	-0.223
<b>CE</b>	<b>0.957</b>	-0.198
<b>Na</b>	<b>0.845</b>	-0.26
<b>Mg</b>	<b>0.81</b>	-0.473
<b>G-</b>	<b>0.76</b>	0.502
<b>Total</b>	<b>0.719</b>	0.534
<b>Fungi</b>	<b>0.683</b>	0.514
<b>MO</b>	<b>0.608</b>	<b>0.669</b>
<b>N</b>	0.476	0.381
<b>K</b>	0.39	-0.636
<b>PHP</b>	0.302	0.927
<b>Ca</b>	0.282	-0.774
<b>REB</b>	0.262	-0.312
<b><math>\beta</math>-Glu</b>	0.182	<b>0.877</b>
<b>P</b>	0.019	-0.796
<b>CBM</b>	-0.025	<b>0.947</b>
<b>F/B</b>	-0.096	0.733
<b>AE</b>	-0.466	0.537
<b>pH</b>	-0.558	-0.487
<b>Ureasa</b>	-0.852	0.227

AE: agregados estables; CE: conductividad eléctrica; P: fósforo; MO: materia orgánica; N: nitrógeno Kjeldhal; K: potasio; Ca: calcio; Mg: magnesio; CBM: carbono de la biomasa microbiana; REB: respiración edáfica basal;  $\beta$ -Glu: Glucosidasa; PHP: Fosfatasa ácida; G-: bacterias gram negativas; G+: bacterias gram positivas; Actino: Actinobacterias; Total: Total de grupos funcionales; F/B: relación bacterias-hongos.

A la vista de la tabla 4, podemos observar en qué medida las propiedades analizadas explican los dos componentes. El primer componente se compone principalmente por las comunidades microbianas, la CE y en menor porcentaje por el Na y el Mg. Por su parte, el segundo componente está definido en su mayoría por las enzimas del C, CBM y MO.

## 5. CONCLUSIONES

A la vista de los resultados obtenidos en los análisis realizados en las parcelas de estudio con distintos manejo agrícola, podemos concluir:

1- Durante el periodo de 3 años de aplicación de enmiendas orgánicas a la parcela de tratamiento ecológico, observamos una mejora en el contenido de materia orgánica, agregación, carbono de la biomasa microbiana y para la actividad enzimática correspondiente al ciclo del C y P.

2- Sin embargo, 3 años llevando a cabo este manejo sostenible no fue suficiente como para observar una mejora del contenido en N, P y K, por lo que es necesario un estudio más a largo plazo para estudiar estas propiedades.

3- El agua de riego con un elevado contenido en sales está afectando a la conductividad eléctrica del suelo y probablemente este influyendo en la tasa de respiración microbiana. Por lo que ahí sería necesario modificar el agua de riego para no comprometer la calidad el suelo y la productividad del cultivo. No obstante, el riego no ha influido negativamente en la estructura en el caso de la parcela con manejo ecológico.

4- Tras analizar los grupos microbianos a partir de los PLFAs (Ácidos grasos fosfolipídicos), observamos una mejoría en la parcela bajo el manejo ecológico, con una mayor proliferación de hongos, por lo que la calidad del suelo en general se ve beneficiada con el tratamiento ecológico.

5- A la vista de los resultados podemos decir que un manejo sostenible para el suelo bajo estas condiciones de semi-aridez, mejora en general, la calidad del mismo contribuyendo a su conservación como recurso.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- Acosta-Martinez V, Acosta-Mercado D, Somajor-Ramirez D, Cruz-Rodriguez L. (2008) Microbial community and enzymatic activities under different management in semiarid soils, *Appl Soil Ecol.* 38: 249-260.
- Agustí, M. (2000). *Citricultura*; Ed. Mundi-Prensa.
- Alarcón, A. y Ferrara-Cerrato, R. (2000). *Biofertilizantes: importancia y utilización en agricultura*
- Anderson, T.H. (2003). Microbial eco-physiological indicators to assess soil quality. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 98:285-293.
- Arrese-igor, C y Becana, M. (2008). Fijación de Nitrógeno molecular En: *Fundamentos de Fisiología Vegetal*. McGraw-Hill-Interamericana. Madrid. pp. 305-322.
- Arshad, M.A. y Coen, G.M. (1992). Characterization of soil quality: Physical and chemical criteria. *American J. of Alternative Agriculture* 7: 25 - 31.
- Arshad, M.A., y Martin, S. (2002). Identifying critical limits for soil quality indicators in agro-ecosystems. *AGR ECOSYST ENVIRON* 88, 153–160.
- Benito, E., Gómez-Ulla, A. y Díaz-Fierros, F. (1986). Descripción de un simulador de lluvia para estudios de erosibilidad del suelo y estabilidad de los agregados al agua. *An. Edafol. Agrobiol.* 9-10, 1115- 1126.
- Bossio, D.A., K.M. Scow, N. Gunapala, and K.J. Graham. (1998). Determinants of soil microbial communities: Effects of agricultural management, season, and soil type on phospholipid fatty acid profiles. *Microb. Ecol.* 36:1–12.
- Díez, J.A. (1982). Consideraciones sobre la utilización de la técnica extractora de Burriel-Hernando para la evaluación del P asimilable en suelos. *Anal. Edaf y Agrob*,41 (2), pp. 1345-1353.
- Carter, M.R., Gregorich, E.G., Anderson, D.W., Doran, J.W., Janzen, H.H. y Pierce, F.J. (1997). Concepts of soil quality and their significance. En *Soil quality for crop production and ecosystem health* (eds. Gregorich, E.G. y Carter, M.). Elsevier Science Publishers, Amsterdam, Netherlands.
- Cerdà, A., Flanagan, D.C., le Bissonnais, Y., y Boardman, J. (2009). Soil erosion and agriculture. *Soil Till. Res.*, 106, 107-108, DOI: 10.1016/j.still.2009.1.
- Cooper, A. B., y Morgan, H. W. (1981). Improved fluorometric method to assay for soil lipase activity. *Soil Biol Biochem*, 13(4), 307-311.

Dominguez, A. (2001). MAGRAMA, cultivo ecológico de cítricos en las regiones del mediterráneo.

Esquinas J. (2013). Biodiversidad y seguridad. En seguridad alimentaria y seguridad global. Instituto español de Estudios Estratégicos. Ministerio de Defensa.

FAO, (2010). Guidelines for soil description, 4th edition. FAO, Rome.

Farage, P., Ball, A., Mc Genity, T.J., Whitby, C. y Pretty, J. (2009). Burning management and carbón sequestration of upland heather moorland in the UK. *Aust. J. Soil Res.* 47 (4), 351–361.

Filip, Z., Kanazawa, S. y Berthelin, J. (1999). Characterization of effects of a longterm wastewater irrigation on soil quality by microbiological and biochemical parameters. *J Plant Nutr Soil SC.* 162,409-413.

García-Orenes, F., Cerdà, A., Mataix-Solera, J., Guerrero, C., Bodí, M., Arcenegui, V., Zornoza, R. y Sempere, J.G. (2009). Effects of agricultural management on surface soil properties and soil-water losses in eastern Spain. *Soil Till Res.* 106, 117-123.

García-Orenes, F., Guerrero, C., Roldán, A., Mataix-Solera, J., Cerdá, A., Campoy, M., Zornoza, R., Barcnas, G. y Caravaca, F. (2010). Soil microbial biomass and activity under different agricultural management

systems in a semiarid Mediterranean agroecosystem. *Soil Till. Res.* 109 (2): 110-115.

García-Orenes F, Morugán-Coronado A, Zornoza R, Scow K. (2013). Changes in soil microbial community structure influenced by agricultural management practices in a Mediterranean agro-ecosystem. *PLoS ONE* 8: e80522.

García-Orenes F, Roldan A, Morugán-Coronado A, Linares Carlos, Cerdà A, Caravaca F. (2016). Organic fertilization in traditional mediterranean grapevine orchards mediates changes in soil microbial community structure and enhances soil fertility. *Land Degrad Develop.* DOI: 10.1002/ldr.2496

Guerrero, C., Moral, R., Gomez, I., Zornoza, R., y Arcenegui, V. (2007). Microbial biomass and activity of an agricultural soil amended with the solid phase of pig slurries. *Bioresource Technol* ,98(17), 3259-3264.

Jangid, K., Williams, M., Franzluebbers, A., Sanderlin, J., Reeves, J., Jenkins M., Endale, D., Coleman, D., Whitman, W. (2008). Relative impacts of land-use, management intensity and fertilization upon soil microbial community structure in agricultural systems. *ELSEVIER.*

- Joergensen, R.G., Anderson, T. H. y Wolters, V. (1995). Carbon and nitrogen relationships in the microbial biomass of soils in beech *Fagus sylvatica* L. forests. *Biol. Fertil. Soils* 19, 141–147.
- Kalender E, Kampichler C, Horak O. 1996. Influence of heavy metals on the functional diversity of soil microbial communities. *Biol Fertil. Soils*. 23:299-306.
- Loussert, R. (1992). *Los agrios*. 319 p. Editorial Mundi-Prensa, Madrid, España.
- Lynch, D. H., Voroney, R. P., y Warman, P. R. (2005). Soil physical properties and organic matter fractions under forages receiving composts, manure or fertilizer. *Compost science & utilization*, 13(4), 252-261.
- Maas, E y Hoffman G. (1977). Crop salt tolerance: Current assessment. *J Irrig Drain E-ASCE* 103: 115-134
- MAGRAMA. (2009). Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Secretaría General Técnica. Centro de Publicaciones. Catálogo de Publicaciones de la Administración General del Estado:
- <http://publicacionesoficiales.boe.es/> . NIPO: 280-12-100-8.
- MAGRAMA. (2013). Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Subdirección General de Calidad Diferenciada y Agricultura Ecológica. *Agricultura ecológica, estadísticas 2013*. <http://publicacionesoficiales.boe.es/> NIPO: 280-14-153-2.
- Morlat, R. y Chaussod, R. (2008). Long-term additions of organic amendments in a Loire valley vineyard. I. Effects on properties of a calcareous sandy soil. *Am. J. Enol. Vitic.* 59 (4), 353–363.
- A. Morugán-Coronado, F. García-Orenes, J. Mataix-Solera, V. Arcenegui, J. Mataix-Beneyto (2011) Short-term effects of treated wastewater irrigation on Mediterranean calcareous soil *Soil and Tillage Research*, 112 (2012), pp. 18–26
- Morugán-Coronado, F García-Orenes, A Cerdà. (2015). Changes in soil microbial activity and physicochemical properties in agricultural soils in Eastern Spain. *A Spanish Journal of Soil Science* 5 (3), 201-213
- Nannipieri, P., Ceccantini, B., Cervelli, S y Matarese, E. (1980). Extraction of phosphatase, urease, proteases, organic carbon, and nitrogen from soil. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 44, 1011-16.
- Peregrina, F., Larrieta, C., Ibañez, S. y García-Escudera, E. (2009). Efecto de dos tipos de cubierta vegetal en la disponibilidad de nitrógeno en un viñedo de la D.E.O. controlada Rioja. Pardo, A., Suso, M. L., Vázquez, N. (eds.), *Actas de horticultura*, nº 54. VI Congreso Ibérico de ciencias de horticolas. 399-400. SECH, Logroño.

- Roldán, A., García-Orenes, F. y Lax, A. (1994). An incubation experiment to determinate factors involving aggregation changes in an arid soil receiving urban refuse. *Soil Biol. Biochem.* 26:1699-1707.
- Sanchez-Maranon, M., Soriano, M., Delgado, G. y Delgado, R. (2002). Soil quality in Mediterranean mountain environments: effects of land use changes. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66, 948-958.
- Sastre, I., Vicente, M.A. y Lobo, M.C. (1996). Influence of the Application of Sewage Sludges on Soil Microbial Activity. *Bioresource Technol.* 57, 19-23
- Soil Survey Staff, (2014). Keys to soil taxonomy, 11th edn. USDANRCS, Washington DC, USA pp 106-111.
- Tabatabai, M.A. (1982). Soil enzymes. En: *Methods of Soil Analysis, Part 2*. Ed. Page, A.L., Miller, R.H., Keeney, D.R., 2nd ed. Agronomical Monograph No 9. American Society of Agronomy and Soil Science of America. Madison. pp. 501-538
- Vance ED, Brookes PC, Jenkinson DS. (1987). An extraction method for measuring soil microbial biomass. *Soil Biol Biochem* 19:703-707.
- Walkley, A. y Black, I. A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37:29-38.
- World Resources Institute, & The United Nations Environment Programme. (1996). *World Resources 1996-97*. New York, NY, USA: Oxford University Press.
- Zornoza R. (2006). Evaluación de la calidad ambiental en suelos de la provincia de Alicante: desarrollo y aplicación de diferentes técnicas. Doctorado. Universidad Miguel Hernández de Elche.
- Zornoza R, Guerrero C, Mataix-Solera J, Scow KM, Arcenegui V et al. (2009). Changes in soil microbial community structure following the abandonment of agricultural terraces in mountainous areas of Eastern Spain. *Appl Soil Ecol* 42: 315-323. doi:10.1016/j.apsoil.2009.05.011.PubMed: 22291451.

## 7. ANEXO

Correlaciones (*R* de Pearson) entre las variables físicas, químicas y bioquímicas, los grupos funcionales a partir de los PLFAs para los distintos manejos agrícolas estudiados.

Parámetro	P	N	CBM	Ureasa	B-Glu	PHP	AE	pH	CE	BSR	Na	K	Ca	Mg	F	G-	G+	Actino	Total PLFAs	B	F/B
MO	-0,04	0,64**	0,63*	0,12	0,64**	0,77***	0,36	-0,46	0,12	0,51*	0,15	-0,33	0,40	0,28	0,66**	0,58*	0,40	0,40	0,67**	0,34	0,34
P		0,20	-0,44	-0,05	-0,46	-0,40	-0,28	-0,10	-0,29	-0,15	-0,32	0,56*	0,53*	-0,56	-0,46	-0,36	0,35	0,20	-0,46	-0,12	0,86
N			0,61*	0,31	0,46	0,45	0,07	-0,38	0,06	0,28	-0,08	-0,40	-0,27	0,14	0,18	0,38	0,17	0,17	0,20	-0,04	0,43
CBM				0,31	0,80***	0,69**	0,30	-0,20	0,16	0,53	0,33	-0,58*	-0,56*	0,45	0,54*	0,62	-0,03	0,05	0,54*	0,05	0,37
Ureasa					0,36	0,26	0,36	0,07	-0,40	-0,18	-0,263	-0,39	-0,31	-0,15	0,03	-0,49	-0,47	-0,43	0,00	-0,24	0,17
B-Glu						0,87**	0,55*	-0,05	-0,07	0,36	0,17	-0,59*	-0,56*	0,17	0,66**	0,56	0,16	0,25	0,69**	0,39	0,15
PHP							0,53*	-0,07	-0,16	0,30	0,25	-0,55*	-0,43	0,13	0,68**	0,57	0,15	0,19	0,69**	0,28	0,27
AE								-0,29	-0,31	0,38	-0,10	-0,283	-0,43	-0,04	0,29	0,21	-0,25	-0,23	0,33	0,13	0,03
pH									-0,44	-0,37	0,11	-0,15	0,30	-0,23	-0,07	-0,55	-0,22	-0,34	-0,13	-0,16	-0,03
CE										0,25	0,35	0,07	-0,27	0,53*	0,19	0,44	0,20	0,29	0,17	0,17	0,00
BSR											0,16	-0,15	-0,37	0,34	0,22	0,51	0,37	0,46	0,29	0,13	0,32
Na												0,18	0,20	0,79***	0,49*	0,25	0,44	0,53	0,45	0,41	-0,12
K													0,67**	0,23	-0,39	-0,258	0,40	0,35	-0,41	0,08	-0,38
Ca														0,01	-0,28	-0,286	0,40	0,24	-0,30	0,02	-0,21
Mg															0,45	0,17	0,45	0,59*	0,41	0,46	-0,01
F																0,52	0,42	0,48	0,98***	0,60*	0,11
G-																	0,58	0,55	0,59*	0,45	0,05
G+																		0,96***	0,47	0,91***	-0,40
Actino																			0,54	0,97***	-0,31
Total PLFAs																				0,63**	0,12
B																					-0,60*