

INCIDENCIA DE ENMIENDAS ORGÁNICAS SOBRE LA CALIDAD DEL SUELO EN CIRUELO ECOLÓGICO

M. T. Hernández, C. Chocano, J. Melgares de Aguilar *, D. González *, C. García.

CEBAS. CSIC. Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura. Apartado 164. 30.100, Espinardo, Murcia. mthernan@cebas.csic.es.

*Consejería de Agricultura y Agua. Plaza Juan XXIII s/n. 30.071 Murcia. fjavier.melgaresdaguilar@carm.es

RESUMEN

Se estudia la evolución de la calidad del suelo en una finca de ciruelo en cultivo ecológico (variedad Santa Rosa sobre Marianna GF 8-1). Los tratamientos ensayados durante dos campañas han sido seis: aplicación anual y bianual de un compost comercial procedente de estiércol de oveja, un abono verde compuesto de una mezcla de gramínea y leguminosa y un biofertilizante (bacterias *Azospirillum brasilense* y *Pantoea dispersa*). Se dispone de parcelas testigo sin aporte fertilizante, y de una finca colindante con el mismo material vegetal, y con fertilización mineral que servirá para estudiar comparativamente el cultivo ecológico y el convencional.

Los resultados obtenidos muestran un ligero efecto diferenciado del tipo de enmienda sobre las actividades enzimáticas estudiadas y el contenido en materia orgánica del suelo, encontrándose en algunos casos diferencias estadísticamente significativas.

La actividad de la biota microbiana se incrementa con respecto al testigo y el convencional tras los aportes orgánicos, según revelan los parámetros de respiración y ATP. El compost es la enmienda que más estimula las poblaciones de microorganismos. Las actividades hidrolasas también siguen esta tendencia.

Palabras clave: abono verde, actividad enzimática, *Azospirillum*, *Pantoea*, compost.

INTRODUCCION

La agricultura intensiva ha aumentado el rendimiento de las cosechas pero también ha generado graves problemas de contaminación ambiental, gasto energético y degradación y pérdida de suelo. La comprensión de los agroecosistemas es clave para determinar los sistemas eficaces en agricultura. Los suelos de la Región de Murcia tienen una baja elasticidad favorecida por factores ambientales (clima semiárido, sustrato litológico, baja cobertura vegetal) y factores antrópicos (prácticas agrarias inadecuadas, salinización de suelos, deforestación, escasez de materia orgánica) y por tanto están expuestos a una pérdida irreparable de su fertilidad y a un futuro de degradación, erosión y desertificación.

Las prácticas agrarias ecológicas constituyen una alternativa al control de la degradación del suelo ya que proponen un manejo del mismo basado en la diversificación productiva en el tiempo y en el espacio, en la conservación y mantenimiento de la fertilidad del suelo mediante aportes orgánicos de calidad que fomenten la biodiversidad funcional del suelo y en la optimización de las labores mecánicas.

Aunque el sistema de producción ecológica tiene cada vez más defensores por el uso respetuoso que hace del suelo, son muchos los aspectos que aún se desconocen del mismo siendo todavía escasos los estudios relativos a la eficiencia productiva de los

diferentes manejos ecológicos y a la bondad de los mismos para la conservación de la calidad del suelo y la mejora de la calidad de las cosechas.

La consideración del suelo como un sistema complejo en equilibrio dinámico, en el que los seres vivos que habitan en él tienen un papel esencial en el sostenimiento de su fertilidad, es una de las claves en cualquier investigación sobre el manejo ecológico de un suelo agrícola (Canet, Albiach y Pomares, 2000). El estudio del estado biológico puede servir como un marcador del estatus del suelo, es decir, como un indicador de su calidad, lo cual irá ineludiblemente unido a la fertilidad de dicho suelo (García y Hernández, 2003).

Los microorganismos del suelo juegan un importante papel en una gran parte de los ciclos globales del carbono, nitrógeno, fósforo, azufre y agua. La disponibilidad de estos elementos está influenciada de manera notable por la mineralización de la materia orgánica y por su humificación, ambas producidas por los microorganismos. El objetivo de este trabajo es optimizar el manejo ecológico de un cultivo de ciruelo ecológico, variedad Santa Rosa sobre pie Marianna GF8-1, situado en la Vega del Segura, en Cieza (Murcia).

Para ello se establecen distintas enmiendas orgánicas aportadas de forma anual y bianual: un compost procedente de estiércol de oveja; un abono verde mezcla de gramíneas y leguminosas; y un biofertilizante compuesto por bacterias (*Azospirillum brasilense* + *Pantoea dispersa*). Estas enmiendas se comparan con un testigo que no tiene aporte alguno y con una parcela de la misma variedad en cultivo convencional.

La evolución de la calidad del suelo se mide a través de la actividad microbiana que actúa como un buen indicador de su fertilidad biológica y bioquímica (García et al. 2000). Los bioindicadores utilizados en este ensayo son: carbono orgánico total (COT%), respiración, ATP y las actividades enzimáticas: fosfatasa y ureasa.

MATERIALES Y METODOS

La experimentación se ha llevado a cabo en una finca situada en el término municipal de Cieza (Murcia) a orillas del río Segura, con cultivo ecológico (desde el año 2002) de ciruelo variedad Santa Rosa sobre pie Marianna GF8-1, con riego tradicional a manta, árboles de 10 años y marco de plantación 4X4 m; y en otra finca convencional con la misma variedad (árboles de 2 años) y cercana a la anterior que tiene riego por goteo.

En parcelas experimentales de 256 m² (16 árboles) se han establecido tres bloques con los siguientes tratamientos distribuidos al azar:

- i) aporte anual de 32 kg/árbol de compost de oveja (34% de materia orgánica, 1,27% de nitrógeno, 1,5% de fósforo y 1,33% de potasio)
- ii) siembra anual de abono verde (60% avena, 40% de yeros) y dosis de siembra 120 kg/ha
- iii) aplicación anual, aproximadamente 40 días antes de la floración, de un biofertilizante comercial compuesto de una mezcla de *Azospirillum brasilense* y *Pantoea dispersa*, dosis de 0,75 kg/árbol
- iv) testigo sin fertilización

Tras el primer año de cultivo las parcelas con adición de compost y de abono verde se subdividieron en dos, aplicando a una de las subparcelas de nuevo enmienda (aporte anual) y dejando la otra sin abonar (aporte bianual). En esta comunicación se muestran los resultados relativos al primer año de cultivo (aporte anual de enmienda).

En la parcela de cultivo convencional de ciruelo se han considerado dos tratamientos (en las calles y en la zona del bulbo) con tres repeticiones.

Algunas de las principales características físico-químicas y químicas de los lugares experimentales se muestran en el Cuadro 1.

Cuadro1. características físico-químicas del suelo

Parcelas	pH	CE 1:5	Mat org	C org total	N total	P2O5	K2O	Ca asim
experiment	1:2,5	µs/cm	%	%	%	mg/kg	meq/100g	meq/100g
Ecológico	8,2-8,8	170-470	1,3-2	0,77-1,1	0,12-0,19	50	0,65-1,10	11-13,2
Convenc	8,8	170	1	0,6	0,15	25	1	13,6
Conv bulbo	8,8	325	1,3	0,95	0,16	110	1	17

Terreno aluvial. Textura franco arenosa gruesa.

Se han realizado tres muestreos de suelo a una profundidad de 0-25 cm y en la zona radicular del árbol: en enero 2005 (después del aporte del compost, del biofertilizante y la siembra de abono verde), en abril 2005 (a mitad de campaña y recién segado el abono verde) y en julio 2005 (después de la recolección). Cada muestra de suelo está formada por la mezcla de 8 submuestras tomadas en diferentes puntos de la parcela. Estas muestras de suelo se homogeneizaron cuidadosamente y se pasaron a través de un tamiz de 2 mm conservándose a continuación a 4°C hasta su análisis.

Los análisis realizados en laboratorio para determinar la actividad microbiana del suelo y comprobar la evolución de su calidad son: el carbono orgánico total, la respiración, el ATP y las actividades enzimáticas extracelulares: fosfatasa y ureasa (hidrolasas).

METODOS ANALITICOS

El carbono orgánico total (COT) se determinó por oxidación del carbono orgánico con dicromato potásico en medio ácido (ácido sulfúrico) y posterior valoración con sal de Mohr del exceso de dicromato, según el método de Yeomans and Bremner (1989).

La respiración del suelo se determinó mediante la medida del C-CO₂ desprendido por los microorganismos durante la incubación a 28 °C durante 30 días de las muestras de suelo humedecidas. El CO₂ desprendido se midió (diariamente durante la primera semana, y una vez a la semana posteriormente) mediante un detector de infrarrojo de dióxido de carbono.

La determinación del ATP se realizó con el método de extracción de Webster et al. (1984) modificado por Ciardi y Nannipieri (1990) que utiliza como extractante una mezcla de EDTA y ácido fosfórico (extractante PA) y una posterior determinación del ATP mediante el test de bioluminiscencia basado en la actividad de la enzima luciferina-luciferasa.

La actividad fosfatasa se mide mediante la adición a la muestra de un sustrato artificial (p-nitrofenil-fosfato) y posterior evaluación colorimétrica del p-nitrofenol liberado que, en medio básico, desarrolla un color amarillo (Tabatabai, 1994)

La actividad ureasa está basada en la determinación del amonio liberado después de la incubación del suelo con una disolución de urea a 37°C durante 120 minutos (Nannipieri et al, 1980).

Todos los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis estadístico de la varianza de una vía (ANOVA), realizado con el programa informático STATGRAPH 6.0 y utilizándose el test Tukey HSD con un nivel de confianza del 95% para la diferenciación entre medias.

RESULTADOS Y DISCUSION

La Figura 1 refleja los niveles del carbono orgánico total (COT %) durante los distintos muestreos realizados a lo largo de la campaña del ciruelo y con los diferentes ensayos. El carbono orgánico total o carbono oxidable representa el carbono de todos los materiales orgánicos existentes en el suelo tales como celulosa, lignina, hemicelulosa, proteínas, ácidos orgánicos, etc, los cuales han sido agrupados como sustancias orgánicas descomponibles.

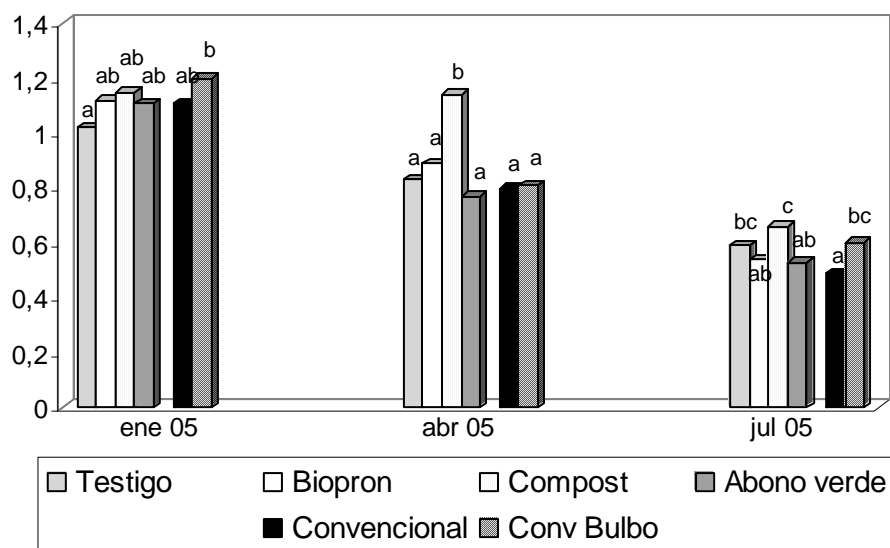


Figura 1. Porcentaje de carbono orgánico total del suelo en los muestreos de enero, abril y julio de 2005

Como puede observarse, el contenido de materia orgánica del suelo inmediatamente después de la adición de los tratamientos (enero 2005) se incrementó con las diferentes enmiendas en relación al testigo o control, sin que las diferencias llegasen a ser significativas. En los sucesivos muestreos (abril y julio) el contenido de carbono va disminuyendo como consecuencia de la mineralización de la materia orgánica exógena y endógena de esos suelos, aunque siempre conservando el compost los niveles más altos. La disminución es particularmente notable en el muestreo de julio (a la mitad si lo comparamos con los datos de enero) lo que nos indica que el proceso de oxidación o transformación del carbono orgánico se encuentra muy activo en primavera – verano y por tanto su nivel desciende.

En la Figura 2 se muestran las curvas de desprendimiento acumulativo de CO₂ (mg C-CO₂/kg suelo) durante los 30 días de incubación de las muestras de suelo. La respiración (desprendimiento de C-CO₂ o consumo de oxígeno) es un parámetro ampliamente utilizado para medir la actividad microbológica en los suelos. La degradación de la materia orgánica es una propiedad de todos los microorganismos heterótrofos y el comportamiento de dicha descomposición se ha utilizado comúnmente para indicar el estado biológico de los suelos (Nannipieri et al, 1990).

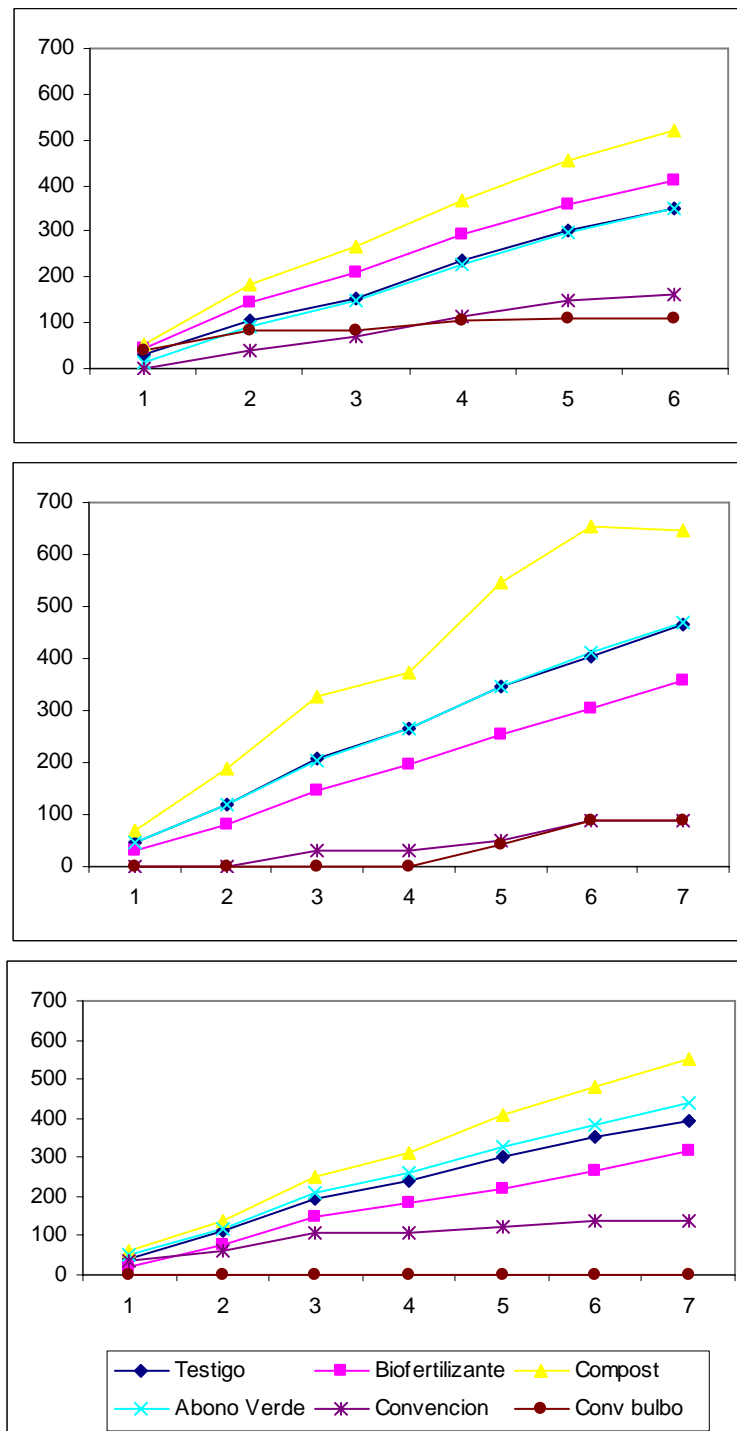


Figura 2. Respiración del suelo en las muestras de enero (imagen superior), abril (imagen central) y en julio (imagen inferior)

En los tres muestreos realizados en el 2005 se observan las diferencias entre las respiraciones de las parcelas ecológicas (incluidas las testigo o control) y las parcelas convencionales que presentan valores significativamente más bajos. También destaca que en los tres muestreos los mayores valores en respiración y por tanto en actividad

metabólica de la biota del suelo se registran en las parcelas con compost y en las parcelas con abono verde en segunda posición.

Otro parámetro biológico que nos da idea de la actividad de las poblaciones microbianas existentes en el suelo es el ATP (Adenosin-5-trifosfato). Según Eiland (1985) y Nannipieri et al (1990) el contenido de ATP determinado inmediatamente después de muestrear un suelo a la temperatura ambiente de dicho suelo y con su humedad, representa la biomasa microbiana activa del suelo en dichas condiciones de campo. La evolución del ATP (ng/g) en los tres muestreos y en los distintos ensayos se ve reflejada en la Figura 3.

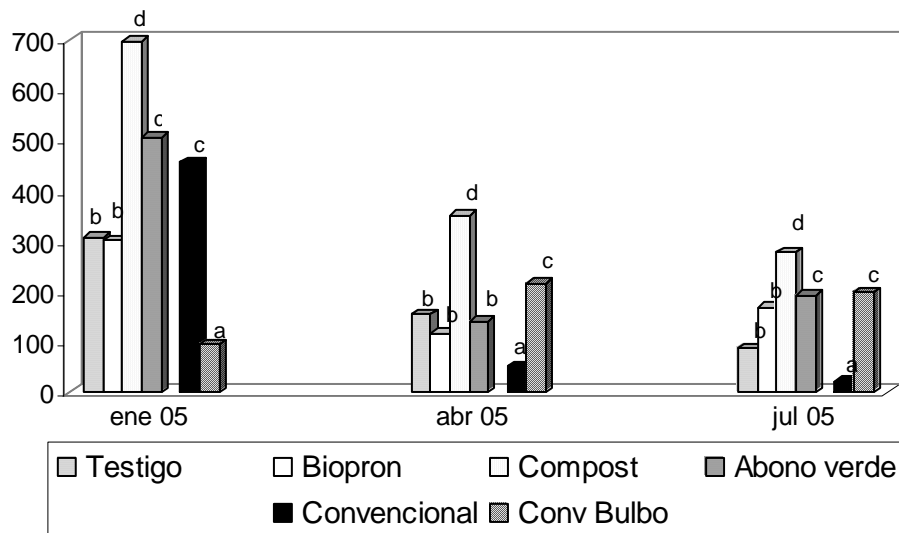


Figura 3. Actividad ATP del suelo en los muestreos de enero, abril y julio de 2005

En todos los casos los valores más altos se encuentran en las parcelas de compost y en las que han recibido abonado verde, presentando diferencias significativas frente a los demás tratamientos. Esto es atribuible al hecho de que estamos aportando al suelo con estas enmiendas una considerable cantidad de sustratos orgánicos fácilmente utilizables como fuente de energía por los microorganismos del suelo, aumentando por tanto su actividad. En los muestreos de abril y julio destaca curiosamente la gran actividad ATP presente en las zonas de bulbo de las parcelas convencionales, que aumenta, mientras que disminuye en los demás tratamientos; lo cual es posiblemente debido a que se mantiene la humedad constante en la zona radicular durante todo el cultivo, favoreciéndose así el desarrollo y la actividad de los microorganismos.

También hay que destacar la disminución progresiva de enero a julio de la actividad ATP que se puede interpretar como una disminución en la biomasa microbiana activa a causa de las condiciones estacionales, como las altas temperaturas en esas fechas y que afectan de forma importante a la actividad microbiana del suelo; lo cual coincide con lo observado por Ribó et al (2002).

La actividad enzimática del suelo es la responsable de la formación de moléculas orgánicas estables que contribuyen a la estabilidad del ecosistema suelo, e intervienen en los ciclos de elementos tan importantes como el nitrógeno (ureasa) y el fósforo (fosfatasa).

En la Figura 4 se muestran los resultados obtenidos para la actividad fosfatasa ($\mu\text{moles PNF/g.h}$) en los tres muestreos realizados en el 2005. La fosfatasa es una hidrolasa que activa la transformación de fósforo orgánico en inorgánico, haciéndolo por tanto, asimilable por las plantas. Las fosfatasas son inhibidas por el producto final de su reacción enzimática (fósforo inorgánico).

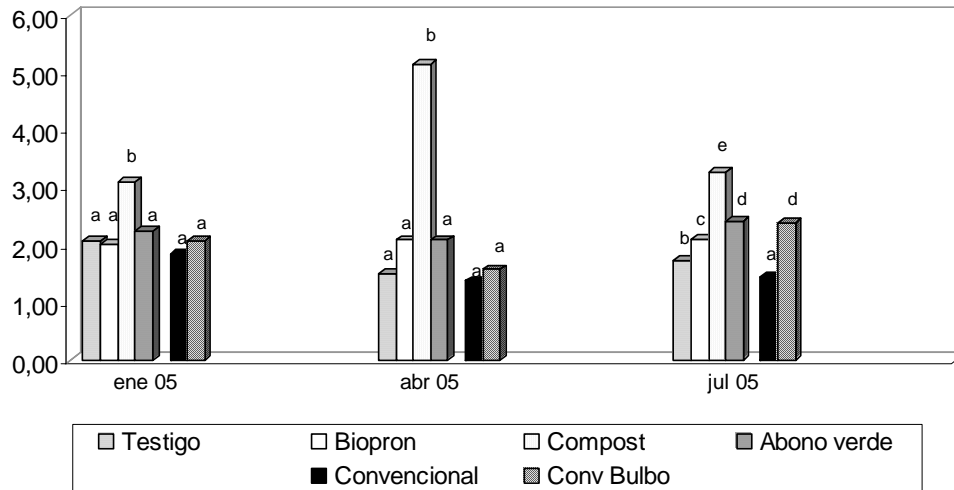


Figura 4. Actividad fosfatasa del suelo en los muestreos de enero, abril y julio de 2005

Como puede observarse, en los muestreos de enero y abril, solo existen diferencias significativas en el compost, que registra los mayores valores, esto tiene su lógica ya que el abono verde y el aporte de biofertilizante aún no han reaccionado en el suelo mientras que el compost si produce un efecto inmediato sobre la biota del suelo que arranca a descomponer las fracciones orgánicas más lábiles. En el muestreo de julio todos los suelos tratados muestran valores de actividad significativamente superiores al control, registrando el compost de nuevo, el valor más alto, seguido del abono verde que se segó en abril y ya se nota que ha reactivado los microorganismos. El valor mas bajo está en la parcela convencional y durante toda la campaña del ciruelo, lo que significa que en ese suelo no hay mucha actividad microbiana.

Por último, en la Figura 5 se muestran los datos correspondientes a la actividad ureasa ($\mu\text{moles N-NH}_4/\text{g.h}$) en los tres muestreos.

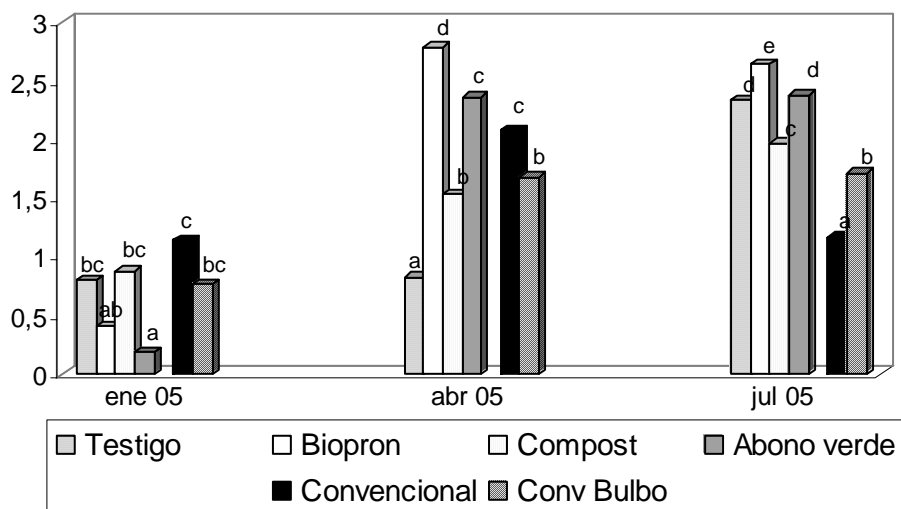


Figura 5. Actividad ureasa del suelo en los muestreos de enero, abril y julio de 2005

La ureasa es la enzima que cataliza la hidrólisis de la urea o sustratos tipo ureico para dar dióxido de carbono y amoníaco. Esta enzima inducida por la biomasa microbiana ha sido ampliamente estudiada en los últimos años por su relación con el ciclo del nitrógeno, ya que su síntesis puede producir grandes pérdidas de nitrógeno en forma de amoníaco, con el consiguiente efecto económico negativo.

Se observa que al principio del ensayo la ureasa mostraba valores muy bajos y un máximo en la parcela convencional, mientras que en los siguientes muestreos la actividad crece significativamente en todas las parcelas y sobre todo en las de biofertilizante y abono verde. Esto puede tener su explicación en que esta enzima está relacionada con el ciclo del nitrógeno y tanto el biofertilizante, compuesto de bacterias del género *Azospirillum* y *Pantoea*, como el abono verde que contiene leguminosas asociadas a bacterias del género *Rhizobium* poseen bacterias fijadoras de nitrógeno.

CONCLUSIONES

Según los resultados obtenidos, y a fecha de hoy, podemos sacar una serie de conclusiones relacionadas con los ensayos realizados en las parcelas de ciruelo ecológico mediante diferentes enmiendas orgánicas y las prácticas convencionales con el mismo cultivo leñoso. Se trata de utilizar los indicadores seleccionados de actividad microbiana para testar la evolución de la calidad del suelo y el mantenimiento e incremento de su fertilidad que es uno de los objetivos principales de la agricultura ecológica.

En primer lugar podemos afirmar que todos los parámetros analizados obtienen mejores resultados con el tratamiento de adición de compost; las actividades enzimáticas se activan antes que en los demás tratamientos aunque se ve una clara relación de la actividad ureasa con los tratamientos del biofertilizante y del abono verde, que consiguen los resultados más altos a medio plazo.

La actividad del ATP se muestra muy influenciada por las condiciones externas, sobre todo la temperatura y la humedad, mostrando un marcado descenso en todos los tratamientos al llegar el verano; exceptuando la zona de bulbo húmedo del cultivo convencional con riego por goteo, que mantiene la humedad constante y quizás por eso no se ve tan alterada la actividad ATP en verano.

También destaca que en los tres muestreos los mayores valores en respiración y por tanto en actividad metabólica de la biota del suelo se registran en las parcelas con compost y en las parcelas con abono verde en segunda posición; mientras que en las parcelas convencionales la actividad microbiana se encuentra muy baja.

Hay que resaltar que las parcelas testigo o control del cultivo ecológico presentan una actividad microbiana significativamente superior que las parcelas convencionales que llevan su fertilización mineral, mientras que las parcelas testigo llevan cuatro años sin ningún tipo de fertilización. De aquí deducimos que el suelo manejado con cultivo ecológico mantiene su fertilidad natural y tiene un mayor equilibrio de nutrientes basado en su cubierta vegetal autóctona y en su reciclado de materia orgánica.

De todas formas aún es pronto para sacar conclusiones definitivas ya que la biología del suelo y las consecuencias derivadas de los distintos manejos orgánicos presentan resultados a medio y largo plazo que hay que tener en consideración.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a D. Felipe González Marín, dueño del cultivo de ciruelo ecológico, su amable ofrecimiento para realizar este proyecto en su finca y la colaboración de los investigadores del CEBAS en las tomas de muestras y recolección del ciruelo.

BIBLIOGRAFIA

- Canet, R., R. Albiach, F Pomares. 2000. Los índices de actividad biológica como herramienta de diagnóstico de la fertilidad del suelo en agricultura ecológica. En: Carlos García, M^a Teresa Hernandez (Eds), *Investigación y perspectivas de la enzimología de suelos en España*, Murcia.
- Eiland, F., 1985. Determination of adenosin triphosphate (ATP) and adenylate energy charge (AEC) in soil and use of adenine nucleotides as measures of soil microbial biomass and microbial activity. *Danish Journal of Plant Soil Science* 1777, 1-93.
- García, C., T. Hernandez, J. Pascual, J L. Moreno, M. Ros. 2000. Actividad microbiana en suelos del sureste español sometidos a procesos de degradación y desertificación. Estrategias para su rehabilitación. En Carlos García, M^a Teresa Hernandez (Eds), *Investigación y perspectivas de la enzimología de suelos en España*, Murcia
- García, C., T. Hernandez. 2003. Suelo y Agroecología En *Agroecología y agricultura ecológica. Situación actual y perspectivas*.
- Nannipieri, P., C. Ceccanti, S. Ceverlli, E. Matarese. 1980. Extraction of phosphatase, urease, protease, organic carbon and nitrogen from soil. *Soil Sci. Soc. Amer.J.*, 44 1011-1016.
- Nannipieri, P., S. Greco, B Ceccanti. 1990. Ecological significance of the biological activity in soil. In: J.M. Bollag and G. Stozky (Eds). *Soil Biochemistry*, vol 6. Marcel Dekker. New York.
- Ribó, M., R. Canet, R. Albiach, F. Pomares. 2002. Efecto del estrés térmico e hídrico sobre las actividades deshidrogenasa y fosfomonoesterasa alcalina de suelos bajo cultivo ecológico y convencional. V Congreso de la SEAE, tomo I 423-429. Gijón.
- Tabatabai, M.A. 1994. Soil enzymes. En *Methods of soil analysis. Part 2. Microbiological and Biochemical Properties*. S. H. Mickelson and J.M. Bigham, Eds Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA. Pp. 775-826.
- Webster, J., G. Hampton, F. Leach. 1984. ATP in soil; a new extractant and extraction procedure. *Soil Biology and Biochemistry* 16, 335-342.