

# **Influencia del abonado con compost y fertilizantes solubles sobre la actividad enzimática del suelo y la calidad del cultivo avena-veza en una finca de la alta montaña madrileña<sup>1</sup>**

J. PÉREZ SARMENTERO\*, A. MOLINA\*, R. COLMENARES\*\*

## **RESUMEN**

Se ha estudiado la influencia de diferentes modos de abonado en la actividad enzimática del suelo y la calidad del forraje, en una finca ecológica de la Sierra madrileña. Para ello se establecieron 16 parcelas experimentales de 5 x 6 m cada una, y separación de un metro, con una disposición de cuadrado latino. Se ensayaron cuatro variables en el abonado: compost de estiércol de ganado vacuno, con y sin preparados biodinámicos, abono químico y testigo. Se sembró la mezcla avena y veza en otoño y se cosechó en primavera. Se analizaron las propiedades físico-químicas del suelo, junto con su actividad biológica total y la actividad enzimática de fosfatasa y  $\beta$ -galactosidasas. Finalmente se evaluó la productividad, el contenido en humedad, la fibra, la grasa, los azúcares y la proteína bruta del cultivo, observándose diferencias, en algunos casos significativas, con una probabilidad del 90 o del 95%.

## **INTRODUCCIÓN**

La agricultura ecológica implica un manejo del sistema suelo-planta diferente al de la agricultura convencional, y cuando se introducen cambios en el manejo del sistema, éstos afectan a las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Consecuentemente, estos cambios influyen en la productividad y en las características del producto obtenido (Verstraete y Voets, 1977).

La mayor parte de las enzimas del suelo proceden de los microorganismos que debido a su gran biomasa, elevada actividad metabólica y corta vida, liberan una cantidad relativamente mayor de enzimas extracelulares que los animales y las plantas (Speir y

---

<sup>1</sup> Este texto es una comunicación presentada en el Primer Congreso de la Sociedad Española de Agricultura Ecológica (SEAE) que se organizó en Toledo, en septiembre de 1994 con el título de "Prácticas ecológicas para una agricultura de calidad". El libro con todas las 65 ponencias y comunicaciones tenía 597 páginas, costaba 1.000 ptas y se solicitaba a SEAE, Apartado 60134, 28080 Madrid.

\* ETSI Agrónomos. Avda de la Complutense s/n. 28040 Madrid

\* ETSI Agrónomos. Avda de la Complutense s/n. 28040 Madrid

\*\* Centro de Investigación Fernando González Bernáldez. c/ San Sebastián 71. 28791 Soto del Real (Madrid).

Influencia del abonado con compost y fertilizantes solubles...

Por: J. Pérez Sarmentero, A. Molina, R. Colmenares

Hoja Informativa nº 16 (agosto-diciembre 1995)

Asociación de Agricultura Biodinámica de España <http://www.biodinamica.es/>

Ross, 1978). Las enzimas presentes en el suelo se encuentran inmovilizadas o estabilizadas en diversas formas (Weetall, 1975).

La actividad enzimática del suelo depende del clima, del cultivo, las propiedades edáficas y el acondicionamiento del suelo, por lo que se encuentra estrechamente relacionada con su fertilidad (Zhon et al., 1983). Las enzimas del suelo también son muy importantes para describir y hacer predicciones acerca del funcionamiento de un ecosistema y las interacciones entre subsistemas. En este sentido se han realizado numerosos estudios para identificar los cambios en la actividad enzimática del suelo causados por la lluvia ácida, los metales pesados, los plaguicidas y otros productos químicos de uso industrial o agrícola (Dolgova, 1978; Ladd, 1985).

La actividad de determinadas enzimas, como las deshidrogenasas, se ha usado para calcular la actividad microbiana total de un suelo, y se ha encontrado que posee una buena correlación con otros métodos como el de la respiración del suelo, más antiguo y conocido. Nosotros la hemos determinado a partir de la hidrólisis del diacetato de fluoresceína, que resulta ser una prueba más sensible y rápida que la actividad deshidrogenasa (Schnurer y Rosswal, 1982). La hidrólisis de este sustrato se realiza por diversas enzimas, como lipasas y esterases (Guilbault y Kramer, 1964).

Varias enzimas liberan nutrientes específicos para las plantas durante el proceso de mineralización de la materia orgánica. En este sentido, las fosfatasas han sido ampliamente estudiadas en los suelos agrícolas (Speir y Ross, 1978). Las fosfatasas engloban un grupo de enzimas que catalizan la hidrólisis de los ésteres y anhídridos del ácido fosfórico, estando por tanto relacionadas con la mineralización del fósforo orgánico presente en el suelo.

Otras enzimas, como las B-galactosidasas, que hidrolizan la lactosa, originan productos que constituyen una importante fuente energética para los microorganismos del suelo.

En el presente trabajo se estudian la variación de la actividad de esterases, fosfatasas y  $\beta$ -galactosidasas en el suelo, en función de la profundidad y tipo de abono empleado. También se recogen datos de productividad y de determinados parámetros de calidad del cultivo. Con estos últimos se ha realizado el correspondiente tratamiento estadístico, a fin de detectar posibles diferencias.

Evidentemente los resultados de la comparación entre los abonados químicos, con compost y compost con preparados biodinámicos, obtenidos en el año comprendido entre julio de 1992 y julio de 1993, sólo son orientadores. Para llegar a conclusiones definitivas sería necesario un estudio de varios años y considerar no sólo la fertilidad, sino el manejo del sistema en conjunto.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Los ensayos se han realizado en una finca de 2,4 ha, conocida con el nombre “*Las Puentes*”, situada en el noroeste de la provincia de Madrid, en el término municipal de Cercedilla. Esta parcela ha sido cultivada durante ocho años siguiendo el método biodinámico y antes de nuestro estudio se sembró, cuatro años con alfalfa y a continuación un año con la mezcla centeno-veza.

El clima de la zona está entre mediterráneo templado y mediterráneo frío, que junto con las temperaturas extremas, según la clasificación agroclimática de Papadakis posee unos inviernos tipo avena o trigo y unos veranos tipo arroz, maíz o trigo. Su potencialidad agroclimática es de 6 a 12 toneladas de m.s./ha y año en seco y de 15 a 30 toneladas de m.s./ha en regadío.

Se realizaron los experimentos en parcelas de 30 m<sup>2</sup>, dejando pasillos de un metro entre parcelas, en distribución de cuadrado latino de 4 x 4. Las variables ensayadas fueron compost, compost con preparados biodinámicos, abono químico y testigo. Las dos clases de compost se prepararon en la finca utilizando estiércol vacuno, hecho con paja de trigo en la proporción de 9 kg de paja por vaca y día. El abono químico fue un complejo soluble (15:15:15). La cantidad de compost utilizada fue de 20 toneladas por hectárea y la cantidad de abono químico (98 kg de N/ha) se determinó de forma que el nitrógeno aportado fuese equivalente al aportado por el compost. El abono químico se añadió en primavera, por considerarse esta época la más apropiada para su aprovechamiento por el cultivo.

Se extendió el compost, y se dio un pase de cultivador para enterrarlo superficialmente, antes de realizar la siembra. La preparación del terreno para la siembra consistió en un pase de cultivador, rastra y rodillo. La siembra se realizó a finales de octubre, a voleo y utilizando 150 kg/ha de avena procedente de un agricultor biodinámico y 75 kg/ha de veza procedente de un agricultor convencional. En las parcelas abonadas con compost biodinámico se añadió el preparado 500 a primeros de noviembre.

Para las mediciones físico-químicas del suelo se aplicaron los métodos oficiales de análisis del Ministerio de Agricultura MAPA, 1986).

Se midió la actividad biológica total del suelo con el método de Schnurer y Rosswall (1982) de hidrólisis del diacetato de fluoresceína.

Se determinó la actividad de las fosfatasas y  $\beta$ -galactosidasas midiendo la cantidad de p-nitrofenol liberado después de la incubación de un gramo de suelo con el correspondiente sustrato, a 37°C y siguiendo el método descrito por Rodríguez-Kábanas et al. (1989). Los sustratos utilizados fueron el p-nitrofenil fosfato para la determinación de fosfatasas y p-nitrofenil-b-D-glucopiranosas para la determinación de  $\beta$ -galactosidasas.

Los análisis de proteínas, fibra, cenizas y humedad fueron realizados por el Laboratorio Regional Agrario de Algete (Madrid).

Para las pruebas de significatividad de las diferencias entre tratamientos, tanto de producción como de contenido de humedad y composición química del cultivo, se utilizó la prueba Anova con el paquete estadístico Statview de Macintosh.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De los datos de la Tabla 1 se deduce que por su textura es un suelo franco-arenoso, con un pH bastante ácido, deficiente en fósforo, cuya fertilidad se encuentra mejorada por el elevado contenido de materia orgánica.

Arcilla %	13,8	C %	3,4
Limo %	14,2	N %	0,3
Arena %	28,4	C/N	11,3
pH (1:25)	5,4	P (ppm)	2
Conductividad (mhos/cm)	23,0	K (ppm)	260
M.O. %	5,8	CIC (meq/100g)	15

Los datos de la Tabla 2 fueron obtenidos el 5 de julio, después de recolectar el cultivo previamente existente y antes de añadir el abono de compost correspondiente al presente estudio.

Profundidad (cm)	Esterasas $\mu\text{g/g y h de fluoresceína}$	Fosfatasas $\mu\text{g/g y h de p-nitrofenol}$	$\beta$ -galactosidasas $\mu\text{g/g y h de p-nitrofenol}$	% C
0-10	80	170	11	3,4
10-30	30	80	3	2,3
30-60	20	40	2	1,1

Los valores de las actividades enzimáticas de cada uno de los tres grupos de enzimas recogidos en la Tabla 2, indican que la actividad máxima se encuentra en la superficie, lo que puede atribuirse a los mayores contenidos de carbono, nitrógeno y fósforo disponibles en esta zona (Boligar et al., 1988).

Asimismo, las actividades enzimáticas y el porcentaje de carbono disminuyen con la profundidad, y existe una correlación positiva entre las actividades enzimáticas y el porcentaje de carbono a diferentes profundidades. Probablemente esta correlación se deba a que los enlaces entre las enzimas y los complejos ácido-húmicos del suelo protegen a éstas de su descomposición (McLaren, 1975).

En la Tabla 3 se recogen los datos correspondientes a las actividades

enzimáticas del suelo en otoño, veinte días después de añadir el compost (20 de noviembre de 1992), en invierno, tres meses después (5 de febrero de 1993) y en primavera (27 de abril de 1993).

En los primeros análisis (otoño), la actividad biológica (esterasas) es ligeramente superior en las parcelas biológicas y biodinámicas, que han recibido compost, que en las de control. Sin embargo, la actividad enzimática de fosfatasas y  $\beta$ -galactosidasas es prácticamente la misma en las parcelas que han recibido compost y en las de control. Esto puede ser debido a que los suelos son pobres en fósforo, ricos en materia orgánica y se ha adicionado una pequeña cantidad de compost. Al repetir estos análisis tres meses después, en invierno, se observaron valores ligeramente más altos para la actividad biológica total (esterasas) y la actividad de las fosfatasas, permaneciendo constante la actividad de las  $\beta$ -galactosidasas.

En esta misma fecha se analizó también una zona próxima a la de las parcelas de ensayo, que había recibido tres veces más cantidad de compost que nuestras parcelas (en la Tabla 3 se indica como "exceso de compost"). En ella se observa un aumento de las actividades enzimáticas, tanto frente a las parcelas control como a las biológicas y biodinámicas, consecuencia de la cantidad muy superior de materia orgánica.

Los valores de la Tabla 3 medidos en primavera, unos seis meses después de añadir el compost y diez días después del abonado químico, son superiores a los obtenidos en los análisis anteriores, debido a que en esa época del año es mayor la humedad y temperatura del suelo y como consecuencia el desarrollo de los microorganismos.

Los valores de las parcelas biológicas y biodinámicas son similares, tanto para la actividad biológica total como para la actividad de fosfatasas y  $\beta$ -galactosidasas, y son ligeramente superiores a los valores obtenidos para el control en los dos primeros casos.

Tabla 3. Actividad enzimática del suelo en otoño (O), invierno (I) y primavera (P)									
Parcela	Esterasas $\mu\text{g/g y h de}$ fluoresceína			Fosfatasas $\mu\text{g/g y h de}$ p-nitrofenol			$\beta$ -galactosidasas $\mu\text{g/g y h de}$ p-nitrofenol		
	O	I	P	O	I	P	O	I	P
	Control	60	90	250	270	350	390	25	25
Biodinámica	90	120	280	280	370	420	25	25	34
Biológica	90	120	270	270	360	420	25	25	34
Exceso de compost		150	450		420	1.460		34	40
Abono químico			300			1.190			34

En cuanto a las parcelas abonadas con abono químico se produce un ligero aumento de las actividades enzimáticas de esterazas y fosfatasas, lo que puede explicarse porque nos encontramos en suelos con escaso fósforo, y por tanto la adición de éste

aumenta la proliferación de microorganismos. Duxbury y Tate (1981) han obtenido resultados análogos cuando la fertilización es baja, como en nuestro caso, pero cuando se añade mucho fósforo a este tipo de suelos, por el contrario, las actividades enzimáticas se reducen.

**Producción.** En la Tabla 4 se muestran los valores medios de producción y de humedad M cultivo de avena-veza en los diferentes casos. Sólo el tratamiento biológico, con compost sin preparados biodinámicos, muestra valores de producción significativamente mayores que el control ( $p < 0,05$ ) y que el tratamiento biodinámico ( $p < 0,1$ ). El cultivo con tratamiento biodinámico es el que menos producción ha dado respecto al control, y el biológico el que más (se ve también en la Figura 1).

Tabla 4. Valores medios de producción del cultivo de avena-veza, en kg de materia seca por m <sup>2</sup> , y de porcentaje de humedad, según el tratamiento.		
TRATAMIENTO	PRODUCCIÓN	HUMEDAD
Control	0,79	45,72
Abono químico	1,1	42,36
Biológico	1,31	39,95
Biodinámico	0,85	33,48
Menor diferencia significativa		
p = 0,05	0,5	9,3
p = 0,1	0,4	8,4

Para comprender este resultado, debemos considerar que el suelo de control, como ya se indicó antes, ha sido cultivado biodinámicamente durante años, es decir que está en buenas condiciones, y además que la aportación de nutrientes hecha en los tratamientos fue relativamente baja, lo que ha impedido la aparición de diferencias muy grandes. El objetivo del experimento no era tanto buscar diferencias de producción como aspectos cualitativos en la composición nutritiva del cultivo. Florín (1993) comenta que a mayor aportación de abono, menos apreciable es el efecto de los preparados, basándose en trabajos como el de Spiess (1979) con cereales.

Por otra parte es conocida la función que desempeñan tanto el compost biodinámico como los preparados de campo (500 y 501) en el balance entre producción y calidad de los cultivos, consideradas como dos cualidades polares que se complementan y dependen tanto de las condiciones de crecimiento del cultivo como de las aplicaciones de cada uno de los preparados de campo (Koepf, 1989). Por lo tanto, la ligera contención de la producción que muestra este tratamiento frente a los otros dos podría ser atribuida al efecto de los preparados.

**Contenido de humedad.** El porcentaje de humedad encontrado en la avena-veza según el tratamiento (Tabla 4 y Figura 1), parece apoyar el argumento antes mencionado. El biodinámico es el que menos humedad presenta, significativamente menor frente al control ( $p <$

0,05) y al abono químico ( $p < 0,1$ ), es decir que si bien ha producido poca cantidad relativa, la producción está más concentrada, tiene menos humedad. Este tipo de resultado está confirmado en la bibliografía, cuando se compara productos abonados con compost orgánico con los abonados con abonos químicos (Schuphan, 1975).

Kg de materia seca

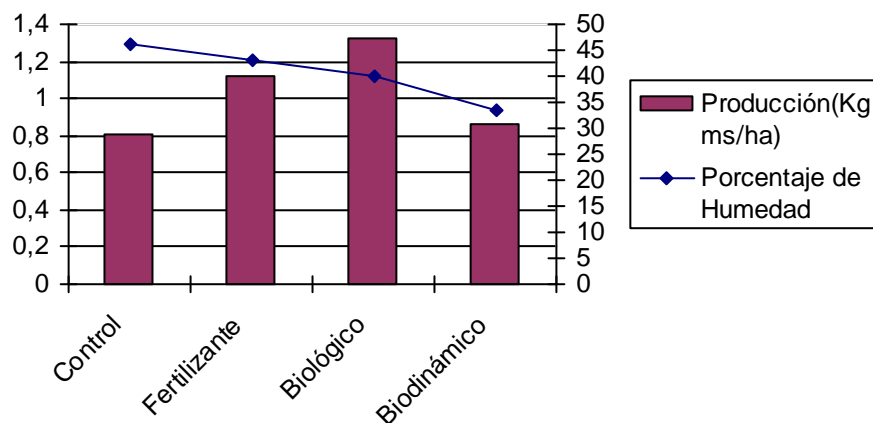


Figura 1. Valores de producción en kg de materia seca por ha y de porcentaje de humedad del cultivo avena-veza según el tratamiento

**Composición química.** Lo más destacable aquí es la diferencia significativa que se produce respecto al contenido de proteína: el tratamiento biodinámico muestra el porcentaje más alto ( $p < 0,05$  respecto al control y biológico, y  $p < 0,1$  respecto al abono químico) (Tabla 6 y Figura 2). Esto podría ser debido a que la avena y la veza con este tratamiento aumentaron su contenido en proteína o a que se desarrolló más la veza con ese tratamiento frente a la avena, lo que también provocaría un mayor contenido de nitrógeno en la muestra. Koepf (1981) citando las investigaciones de Abele (1976) muestra que el uso de compost con preparados puede favorecer el aumento del porcentaje de trébol (una especie leguminosa como la veza) en una pradera temporal, y a juzgar por el aspecto del cultivo antes de la siega, esta podría ser la explicación.

TRATAMIENTO	CENIZA	FIBRA	PROTEINA	GRASA	H. CARBONO
Control	5,2	40,88	7,87	2,22	42,14
Abono químico	5,9	40,42	9,27	2,24	40,01
Biológico	5,97	41,45	9,11	1,81	39,49
Biodinámico	5,6	40,36	11,53	1,75	38,76
Menor diferencia significativa					
p = 0,05	1,2	4,9	2,3	0,5	4,2
p = 0,1	0,9	4,1	1,9	0,4	3,1

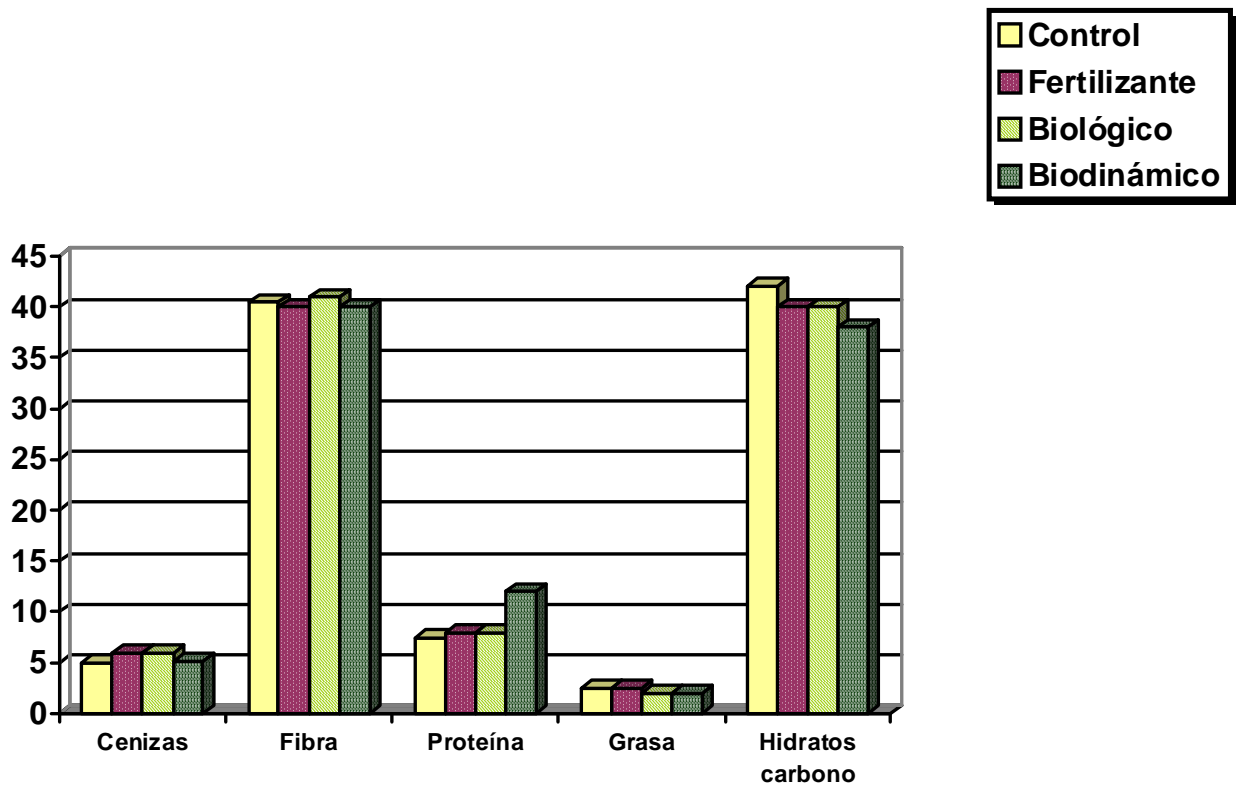


Figura 2. Porcentaje del peso de materia seca del forraje de avena-veza, según tratamiento.

El contenido de cenizas y fibra no da valores significativos entre los tratamientos. Respecto al contenido en grasas la tendencia que se muestra es que tanto el cultivo biológico como el biodinámico contienen significativamente menos grasas que el abonado químicamente y el control ( $p < 0,1$ ). En el contenido de hidratos de carbono únicamente aparece una ligera significación ( $p < 0,1$ ) en la diferencia entre el cultivo biodinámico - con menor porcentaje- y el control (Tabla 6 y Figura 2).

### Agradecimientos

Los autores gradecen al Dr. Rodríguez-Kabana, del Depto. de Patología Vegetal de la Universidad de Auburn, Alabama, la ayuda recibida, tanto bibliográfica como de puesta a punto de los métodos de análisis de actividad enzimática. Este trabajo es parte del proyecto "Estudio comparativo del cultivo avena-veza en una explotación de alta montaña, abonando con fertilizantes solubles, compost y compost con preparados biodinámicos", subvencionado por la Universidad Politécnica de Madrid.

### BIBLIOGRAFÍA

- Abete, U. (1976) *Untersuche des Rotteverlaufes von Guelle bei verschiedener Behandlung*. Institut für biologisch-dynamische Forschung; Darmstadt.
- Boligar, V.C., R.J. Wright, M.D. Smedley (1988) Acid phosphatase activity in soils of the Appalachian Re<sup>s</sup>ion. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 52: 1.612-1.616.