

ESCUELA UNIVERSITARIA DE INGENIERIA TECNICA AGRICOLA
FUNDACION PUBLICA "MANUEL GIMENEZ FERNANDEZ"
SEVILLA

**"CAPACIDAD FERTILIZANTE
DEL FERTIORMONT® LIQUIDO,
ENMIENDA HUMICA DE
INTERES AGRICOLA"**

*PROYECTO FIN DE CARRERA
MANUEL CASTELLANO GONZALEZ
SEVILLA, FEBRERO 1997*



ANTEPROYECTO FIN DE CARRERA

Nº REGISTRO.....

CURSO ACADÉMICO 95/96

E. U. INGENIERÍA TÉCNICA AGRÍCOLA	
CORTIJO DE CUARTO	
	1270
	27-03-96

ALUMNO D./a PAUL DEL CASTILLO DE SEVILLA

DIRECCION ACTUAL C/ PERAL Nº 43 2º C

TELEFONO 4906891

DEPARTAMENTO QUE LO TUTORA QUÍMICA AGRÍCOLA

PROYECTO QUE PROPONE ESTUDIO DE LA EDCIENDA HUMICA LIGADA

FERTILIZANT. COMPOSICION Y EFECTOS SOBRE RYEGRASS Y PLANTULAS

DE PAIZ.

SEVILLA 18 DE Marzo 1.996

CONFORME EL TUTOR

EL ALUMNO

EL PROFESOR DE
TRABAJO FIN DE
CARRERA.

Fdo. CARMEN ORTEGA

ESTUDIO DE LA ENMIENDA HUMICA LIQUIDA FERTIORMONT COMPOSICION Y EFECTOS SOBRE RYGRASS Y PLANTULAS DE MAIZ.

El producto FERTIORMONT líquido está registrado como una enmienda húmica líquida (derivada del tratamiento de los alpechines) y como tal se comercializa en la actualidad.

Según la empresa distribuidora, se trata de un producto rico en Fe y Zn que, además de aportar materia orgánica a los suelos, puede corregir determinadas carencias de micronutrientes. El producto puede ser usado como abono foliar o aplicado en riego.

Con el presente estudio se pretende analizar:

- Composición del producto Fertiormont, con el fin de conocer con precisión la cantidad exacta de materia orgánica y nutrientes que se aplica en cada tratamiento.
- Capacidad para corregir posibles carencias de Fe y otros micronutrientes en Ryegrass y plantulas de Maíz sembradas en un suelo fuertemente calcáreo.
- Influencia de distintas dosis de Fertiormont en el aspecto indicado anteriormente, y en general, sobre el equilibrio nutricional de las plantas. Se pretende con ello lograr una aproximación a la dosis más idónea para ser utilizada en riego.

HOJA ADICIONAL PRESENTADA CON EL ANTEPROYECTO



D. José Manuel Murillo Carpio y D. Rafael López Núñez del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, hacen constar que:

D. Manuel Castellano González, alumno de la Escuela de Ingeniería Técnica Agrícola Cortijo del Cuarto ha realizado su proyecto fin de carrera "Capacidad fertilizante del FERTIORMONT® líquido, enmienda húmica de interés agrícola" en el Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla bajo nuestra dirección.

Fdo. J. Manuel Murillo Carpio

Fdo.: Rafael López Núñez

Sevilla, 7 de febrero de 1997

El presente trabajo ha sido realizado en colaboración con la empresa **FERTIORMONT** (Fertilizantes Orgánicos Montaña)

AGRADECIMIENTOS

Mi agradecimiento a la profesora titular de la E.U.I.T.A. (Fundación Pública "Manuel Giménez Fernández"), Dra. Carmen Ortega, por el interés mostrado hacia este Proyecto Fin de Carrera.

A los Drs. J.M. Murillo y R. López, bajo cuya dirección y asesoramiento ha sido posible la realización del mismo, y muy en especial al primero, pues sin sus conocimientos y entrega día a día, este trabajo no hubiera visto la luz.

Al Dr. F. Cabrera Capitán, responsable del grupo de investigación "Utilización de Fertilizantes, Impacto Ambiental", en cuyo seno se ha realizado este trabajo, por la revisión final del mismo.

Al Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla, perteneciente al C.S.I.C., y a su equipo directivo, por haber puesto a mi alcance todos los medios necesarios para la elaboración de este estudio.

Al Ldo. Benjamín Vázquez, por la inestimable ayuda prestada en la determinación de las actividades enzimáticas en el suelo.

Y por último, quisiera agradecer a Paco, Inma, Pablo Antonio y Rubén, por la ayuda prestada en el transcurso del mismo, y, especialmente a M^a Carmen.

A decorative border with a repeating scroll-like pattern, framing the central text.

INDICE

I.	INTRODUCCION	1
1.	LA CALIDAD DEL SUELO COMO OBJETIVO BASICO DE LA AGRICULTURA SOSTENIBLE	2
2.	PROBLEMATICA QUE PLANTEAN LOS PRODUCTOS DERIVADOS DE LA INDUSTRIA ACEITERA	6
1.	Características del alpechín	8
2.	Contaminación del alpechín:un problema mediterráneo	10
3.	Vías posibles de eliminación de los alpechines	14
4.	Fertiormont líquido	18
II.	OBJETIVOS	23
III.	MATERIALES Y METODOS	26
1.	MATERIALES	27
1.	Abono líquido orgánico	27
2.	Abono inorgánico	29
3.	Substrato	29
4.	Material vegetal	31
2.	METODOS	31
1.	Análisis del Fertiormont puro y disoluciones utilizados en el ensayo	31
2.	Preparación de los ensayos en macetas. Tratamientos	32
3.	Riegos	34
4.	Cortes efectuados y manejo del material vegetal	35
5.	Análisis del material vegetal	36
6.	Análisis del suelo tratado	39
1.	Actividades enzimáticas	39
2.	Determinaciones químicas	43
7.	Ensayos de germinación con el suelo tratado	45
8.	Estudio estadístico de los resultados	46
IV.	RESULTADOS	48

1.	CARACTERIZACION DEL PRODUCTO Y APORTES DE NUTRIENTES EFECTUADOS CON LAS DISOLUCIONES DEL MISMO	48
1.	Caracterización del producto	48
2.	Cantidades de nutrientes aportados con las distintas dosis de Fertiormont	51
2.	RESPUESTA DEL RYEGRASS Y MAIZ A SU APLICACION. PRODUCCION DE BIOMASA	54
1.	Ryegrass	54
2.	Maíz	57
3.	PARAMETROS NUTRICIONALES	64
1.	Concentración y extracción de nutrientes en ryegrass .	66
1.	Macronutrientes	66
2.	Micronutrientes	73
2.	Concentración y extracción de nutrientes en maíz	78
1.	Macronutrientes (plantas de 30 y 45 días) . . .	79
2.	Micronutrientes (plantas de 30 y 45 días) . . .	91
3.	Estudio del equilibrio nutricional según la metodología DRIS (Diagnosis and Recommendation Integrated System)	101
4.	INFLUENCIA DEL FERTIORMONT SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO	108
1.	Influencia del Fertiormont sobre las actividades enzimáticas del suelo	109
2.	Influencia del Fertiormont sobre las propiedades químicas del suelo	114
3.	Germinación de semillas sensibles (<i>Lepidium</i> y ryegrass) en suelos tratados con Fertiormont	117
V.	CONCLUSIONES	125
VI.	BIBLIOGRAFIA	131



I. INTRODUCCION

I.1. LA CALIDAD DEL SUELO COMO OBJETIVO BASICO DE LA AGRICULTURA SOSTENIBLE.

La pérdida de suelo fértil constituye en la actualidad uno de los principales problemas que deben afrontar la mayoría, sino todos, los países del mundo. El problema es de tal magnitud que ha sido considerado prioritario en las políticas medio-ambientales de las naciones más desarrolladas. Y no sin razón, puesto que sin suelo no hay vida.

Así, se estima que un 18 % del territorio español (unos 9 millones de ha) está sometido a elevados fenómenos erosivos, alrededor de 50 Tm ha⁻¹ año⁻¹, alterándose el régimen hídrico e influyendo sobre la calidad de las aguas. Cuando estos fenómenos son recurrentes, se producen paisajes desérticos.

En el caso de nuestra región, se estima que el 24 % de la superficie de la cuenca del Guadalquivir sufre unas pérdidas anuales de suelo superiores a los 10 kg m⁻², muy superiores al intervalo considerado como tolerable (0,5-1,2 kgm⁻² anual, atendiendo a la superficie y velocidad de formación del suelo) (González, 1995).

Ante esta situación no es de extrañar que surjan cada vez con más fuerza grupos, no sólo de carácter científico, sino también socio-político y económico, que preconicen una agricultura menos agresiva, principal motor de la erosión y contaminación de gran parte de los suelos del mundo.

Evidentemente, no se trata de un enfoque totalmente nuevo, puesto

que la moderna agricultura orgánica, promotora del uso de los composts como sustitutos de los abonos minerales convencionales, nace en Inglaterra en los años 30 (Reganold, 1995).

Desde entonces se han definido numerosos sistema agrícolas, denominados "orgánicos", "biodinámicos", "ecológicos", "de bajo aporte" (low input), cada uno con ciertas peculiaridades propias, pero todas ellas con un denominador común: la conservación del suelo.

La denominada agricultura bio-dinámica, por ejemplo, se caracteriza por tratar (pulverizar) los suelos y composts con una serie de "preparados fermentados", antes de su utilización agrícola (Reganold, 1995), aunque luego siguen sistemas de trabajo absolutamente normales. Concretamente, este tipo de agricultura pretende proteger y mejorar los suelos para conseguir productos de calidad (reconocibles a través del mercado), recurriendo para ello al empleo de composts, estiércol, abono verde, control biológico de insectos y enfermedades, laboreo de conservación, rotaciones de cultivo y diversificación de ganado y cultivos (Reganold et al., 1993; Reganold, 1995; Reganold y Palmer, 1995).

Esta filosofía de actuación no busca solamente conservar el suelo, sino mantenerlo sano, evitando así posibles contaminaciones directas o indirectas. Podríamos hablar de la denominada contaminación agrícola difusa, ocasionada por nitratos y otros contaminantes (Wendt et al., 1976; Ramos y Valera, 1990; Addiscott et al., 1991; Andreu et al., 1991; Cabrera, 1995; Moreno et al., 1996). Por consiguiente, no es extraño que en su concepción agrícola del uso del suelo esté totalmente vetado el uso

de pesticidas y abonos inorgánicos tradicionales.

Sin embargo, existen puntos que, en nuestra opinión, todavía requieren ser investigados adecuadamente.

La contaminación difusa de nitratos, por ejemplo, puede llegar a ser más importantes bajo la acción de productos orgánicos que inorgánicos, si los primeros no son adecuadamente manejados. En este sentido resulta muy esclarecedor la puntualización de Reganold (1990) en el sentido de que un sistema agrícola sea "orgánico" o "biodinámico" no significa que sea necesariamente sostenible.

Por agricultura sostenible se entiende aquella que produce suficiente alimento de alta calidad, es segura desde un punto de vista medioambiental, protege el suelo, es ventajosa y socialmente próspera (Reganold et al., 1993). En una palabra, debe tratarse de un sistema viable desde un punto de vista medioambiental y socio-económico. Y esto implica proteger el suelo, aspecto que, por ser éste patrimonio de la humanidad, está por encima de cualquier filosofía o corriente más o menos actualizada.

Realmente, cada vez son más numerosos los grupos de trabajo preocupados por la calidad del suelo, aspecto básico para su conservación y "buena salud". Podríamos citar como ejemplos recientes, entre otros muchos trabajos, los de Bigham (1994) y Doran et al. (1996).

Como información relevante, podemos indicar que la Robert Bosch Foundation, organización alemana sin ánimo de lucro creada para atender las necesidades públicas, reforzar fuerzas morales e intelectuales y

conseguir buena salud (*"to alleviate public want, to strengthen the moral and intellectual forces and to promote good health"*), decidió organizar una reunión científica bajo el lema *"Soil Management, soil functions and soil fertility"* (Sauerbeck, 1994) debido precisamente al preocupante problema, cada vez más extendido, de la degradación de los suelos.

Las principales conclusiones de este grupo de trabajo fueron plasmadas en tres puntos principales: combatir la compactación y erosión del suelo, controlar la intensidad de fertilización y potenciar la utilización de mecanismos biológicos de regulación. Para cada grupo se elaboraron una serie de normas, en ocasiones solapadas por la evidente interdependencia de los tres grupos citados.

Lógicamente, los aspectos más interesantes para los objetivos del presente trabajo fueron discutidos en el segundo punto, en el que se destacó la posibilidad de limitar la fertilización inorgánica y potenciar los aportes orgánicos a los suelos. Se indicó textualmente que *"todas las sustancias orgánicas viables para fertilizar y mejorar el suelo deberían ser devueltas a los suelos para reducir el uso de abonos minerales y limitar sus efectos en el medio ambiente"*.

Se destacó además la importancia del reciclado de materia orgánica para la obtención de abonos orgánicos, como medio de resolver su ubicación definitiva, evitando así una carga excesiva de nutrientes en las aguas y enriqueciendo paralelamente el suelo en materia orgánica, aunque no siempre en humus.

El producto que nos ocupa, cuyo estudio constituye el objetivo

fundamental de la presente memoria, además de poseer un contenido notable de materia orgánica, también es rico en extracto húmico total, lo que le confiere un valor añadido incuestionable. Como se indica en el trabajo de Sauerbeck (1994), la mayoría de las sustancias orgánicas añadidas a los suelos, aun siendo muy necesarias y provechosas por aumentar la actividad biológica de los mismos, no suelen poseer una capacidad humígena apreciable.

El hecho de que, en principio, la reutilización de restos orgánicos generados por la industria aceitera (alpechines y aguas de vegetación fundamentalmente) permita la obtención, no sólo de un compost orgánico útil para la agricultura (Breña, 1990; Cabrera et al., 1990; López, 1992; López et al., 1993; Murillo et al., 1995; Martín-Olmedo, 1996), sino también de un producto rico en humus, sería un paso de gigante hacia los objetivos socio-económicos y ecológicos que se persiguen en agricultura sostenible.

I.2. PROBLEMATICA QUE PLANTEAN LOS PRODUCTOS DERIVADOS DE LA INDUSTRIA ACEITERA.

En el caso de los productos derivados de la industria aceitera, los términos *RECICLAR* o *REUTILIZAR*, encajan perfectamente en la creciente preocupación por los problemas medioambientales, donde la población pide lugares de almacenamiento y métodos de tratamiento de los residuos de forma que estos causen el menor impacto posible sobre el medio ambiente.

Así, la industria aceitera genera dos residuos el orujo y el alpechín (en el sistema de tres fases), cuya eliminación constituye un grave problema para el sector.

El orujo no plantea tantos problemas como el alpechín, hasta el punto de que su carácter de residuo es sólo relativo, ya que después de secado se somete a una extracción de aceite (aceite de orujo), y el orujillo resultante tiene varias aplicaciones: como combustible en la propia almazara, o bien, últimamente, en la fabricación de composts (De Bertoldi et al., 1986), y obtención de pulpa para alimentación animal. El hueso se utiliza como combustible, para obtención de carbones, furfural, etc. (Ramos Ayerbe y Ortega Jurado, 1986).

Por el contrario, el alpechín sí constituye un problema muy grave, según se discute más adelante, ya que no puede ser sometido a ninguno de los procesos que se acaban de comentar para el orujo, al tiempo que su producción es actualmente muy cuantiosa en nuestro país.

Efectivamente, según los datos del Consejo Oleico Internacional, sólo en España se produce sobre el 30 % de la producción mundial de aceite de oliva (López y Cabrera, 1993). Andalucía cuenta con, aproximadamente, el 80 % de la producción nacional, oscilando entre $1,8 \times 10^6$ Tm para un año medio y $3,4 \times 10^6$ Tm para una campaña punta (Rodrigo Román, 1990). Sólo en la cuenca del Guadalquivir, se estima un volumen medio anual de producción de alpechín de 2×10^6 m³, que se producen durante unos 100 días, entre noviembre-marzo (Ama, 1992).

1.2.1. Características del alpechín

El alpechín es una mezcla del agua de vegetación de las aceitunas, del agua que se utiliza en las distintas fases de elaboración del aceite (que oscila entre 0,5-1 l kg⁻¹ de aceituna), así como del agua usada en la limpieza de las instalaciones. El resultado es un líquido oscuro, con un olor que recuerda al aceite y que cuando fermenta tiene un olor fétido; lleva además sustancias en suspensión y disueltas ("alpechín" proviene de la palabra mozárabe *pechin*, derivada de la latina *faecinus*, que significa "de la hez").

Tiene composición química variable, en función de la variedad de olivo, sistema de cultivo, grado de madurez del fruto y tiempo de almacenamiento previo a la molienda. Pero fundamentalmente es función de la tecnología empleada en la extracción del mismo (Cuadros García, 1989; Martínez Nieto y Garrido Hoyos, 1994).

Dependiendo de estos factores, el contenido de agua del alpechín puede oscilar entre 83 y 94 %, entre 4 y 16 % el de materia orgánica y entre 0,4 y 2,5 % el de sales minerales (Ramos-Cormenzana, 1986). La materia orgánica del alpechín está constituida por grasas, azúcares, sustancias nitrogenadas, ácidos orgánicos, polialcoholes, pectinas, mucílagos, taninos y polifenoles (Fiestas Ros de Ursinos, 1986; Saiz-Jiménez et al., 1987; Martínez Nieto y Garrido Hoyos, 1994).

La presencia de compuestos fenólicos, de los que se han identificado más de 50 (Saiz-Jiménez et al., 1987), confieren al alpechín una elevada capacidad antimicrobiana, un importante efecto fitotóxico y su olor

característico (González et al., 1990; Pérez et al., 1992; Cabrera, 1994; Martínez Nieto y Garrido Hoyos, 1994).

De la composición inorgánica del alpechín (Tabla 1.1) se pueden destacar los altos contenidos en K, Na, carbonatos y fosfatos, que pueden constituir el 47, 7, 21, y 14 % , respectivamente, del total de las sustancias minerales (Fiestas Ros de Ursinos y Borja Padilla, 1992; Martínez Nieto y Garrido Hoyos, 1994).

Tabla 1.1. Composición media de los alpechines (adaptada de Martínez Nieto y Garrido Hoyos, 1994).

METODOS DE EXTRACCION	PRESION	CENTRIFUGACION
SUSTANCIAS ORGANICAS	Kg m⁻³	Kg m⁻³
<i>Azúcares Totales</i>	20- 80	5- 26
<i>Sustancias Nitrogenadas</i>	5- 20	1,7- 4
<i>Acidos Orgánicos</i>	5- 20	2- 4
<i>Polialcoholes</i>	10- 15	3- 5
<i>Pectinas, Mucilagos, Taninos</i>	10- 15	2- 5
<i>Grasas</i>	0,3- 10	5- 23
SUSTANCIAS INORGANICAS	Kg m⁻³	Kg m⁻³
<i>Fósforo Total (P)</i>	1,1	0,3
<i>Potasio (K)</i>	7,2	2,7
<i>Calcio (Ca)</i>	0,7	0,2
<i>Magnesio (Mg)</i>	0,4	0,1
<i>Sodio (Na)</i>	0,9	0,3
<i>Hierro (Fe)</i>	0,07	0,02
<i>Carbonatos (CO³⁻)</i>	3,7	1,0
<i>Sulfatos (SO⁴⁻)</i>	0,4	0,15
<i>Cloruros (Cl)</i>	0,3	0,1

1.2.2. Contaminación del alpechín: un problema mediterráneo

Puede afirmarse sin lugar a dudas que la problemática actual del alpechín, deriva fundamentalmente del gran volumen que se produce. Realmente, los problemas derivados de la molturación de la aceituna no son nuevos, ya que desde el siglo II a.C. este residuo se usaba como fertilizante. Aunque su beneficio no estaba muy claro, esta práctica servía para la eliminación de las cantidades puntuales que se iban produciendo.

La problemática del alpechín, puntual, se mantuvo en esta tónica durante siglos. En efecto, tradicionalmente el sector del aceite de oliva estaba integrado por un gran número de pequeñas almazaras diseminadas por toda la geografía, por lo que los vertidos, de escasa importancia, se perdían en los campos sin alcanzar los cauces de los ríos.

El problema se agravó con la industrialización del sector en los años 50 y agrupamiento en cooperativas o almazaras, con lo cual se concentró la molturación y se incrementó notablemente la producción de efluentes que se vertían directamente a los ríos, sin tratar. Ya a finales de los 70, el vertido de alpechines constituía el principal problema de contaminación en la cuenca del Guadalquivir (García Rodríguez, 1990; Rodrigo Román, 1990; Fiestas Ros de Ursinos y Borja Padilla, 1992).

La problemática de los vertidos de alpechín se puede comprender fácilmente teniendo en cuenta que para depurar 1 l de alpechín se necesita una media de 60 gr de O_2 ; suponiendo que el agua receptora tuviese 10 mg O_2 l⁻¹ de oxígeno disuelto, para depurar el alpechín de una campaña media en Andalucía se necesitaría el doble de la capacidad de todos los

embalses de la cuenca del Guadalquivir (García Rodríguez, 1990).

Como ello resulta inviable, nos encontramos con un residuo de difícil manejo y potencialmente peligroso, no sólo por el gran volumen que se genera en la actualidad, sino también porque su carácter líquido hace muy tentador su vertido indiscriminado a los ríos.

Los efectos negativos de los vertidos de alpechín sobre la calidad de las aguas superficiales son muy numerosos y se traducen en el aumento de las concentraciones de sólidos orgánicos e inorgánicos, de K, de P y de metales pesados, así como en la disminución drástica del oxígeno disuelto, a veces hasta niveles de anoxia, dando lugares a malos olores, desarrollo de microorganismos nocivos, asfixia y muerte de la fauna acuática.

Por consiguiente, este sistema de eliminación acarrea graves problemas de contaminación, fundamentalmente debido a su alta carga orgánica y demás parámetros, que sobrepasan en mucho lo establecido por la Ley de Aguas (Tabla 1.2).

Las partículas en suspensión se depositan en los lechos de los ríos, y producen una capa que impide la transferencia de oxígeno a los microorganismos que depuran las aguas, favoreciendo el desarrollo de una flora anaeróbica cuyo metabolismo conduce a catabolitos malolientes con desprendimiento de gases perjudiciales (García Rodríguez, 1990; Martínez Nieto y Garrido Hoyos, 1994).

La grasa en emulsión forma una fina película que impide la disolución del oxígeno atmosférico y dificulta la penetración de los rayos

solares, llegando a impedir el normal desarrollo de la vida animal y vegetal de las aguas (Rodríguez-Gil, 1993).

La fase disuelta (ácidos, polifenoles, iones de metales pesados, etc.), convierte al agua en reductora, con consumo del oxígeno disuelto e impotabilización del agua (Rodríguez-Gil, 1993; Martínez Nieto y Garrido Hoyos, 1994).

Por tanto, el grave problema de contaminación viene condicionado tanto por su alto valor de DBO, como por el enorme volumen generado y en el breve espacio de tiempo en que se produce, superándose, e incluso anulándose la capacidad de autodepuración de las aguas (Sousa, 1992; Cabrera, 1995).

Por consiguiente, no es de extrañar que en 1981 el Gobierno prohibiera los vertidos de alpechines y arbitrara medidas subsidiarias para la construcción de balsas donde almacenar el alpechín durante las campañas de molturación.

En las balsas el agua se evaporaba durante el verano, quedando en ellas los lodos, que tenían que ser retirados para preparar las balsas para la campaña siguiente: Así se construyeron más de 1.000 balsas en la década de los 80, con lo que se mejoró la calidad de las aguas de los ríos de la cuenca del Guadalquivir.

Pero, de nuevo, estas balsas planteaban problemas en las zonas cercanas a su ubicación, como malos olores, proliferación de insectos, derrames y filtraciones, además del problema añadido que suponía la

utilización de estos lodos ocasionados tras la desecación del alpechín.

El problema se agravó con la sustitución progresiva en muchas almazaras del sistema tradicional de presión por el de centrifugación en continuo, que produce más del doble de volumen de alpechín. Aunque paulatinamente se fue aumentando el número de balsas, que en 1988 ascendía a 2.458 (Rodrigo Román, 1990), fueron cada vez más frecuentes los accidentes de derrames y los vertidos incontrolados.

Tabla 1.2. Parámetros relacionados con la capacidad contaminante del alpechín (adaptado de Fiestas Ros de Ursinos y Borja Padilla, 1992).

METODOS:	PRESION	CENTRIFUGACION	VALORES MAXIMOS. LEY DE AGUAS.
Parámetros	g l ⁻¹	g l ⁻¹	mg l ⁻¹
<i>D.Q.O.</i>	120- 130	45- 60	500
<i>D.B.O.</i>	90- 100	35- 48	300
<i>Sólidos en suspensión</i>	1	9	300
<i>Sólidos Totales</i>	120	60	-
<i>Sólidos Minerales</i>	15	5	-
<i>Sólidos Volátiles</i>	105	55	-
<i>Grasa</i>	0,5- 1,0	3- 10	-

1.2.3. Vías posibles de eliminación de los alpechines

Ante la problemática que suponía el vertido incontrolado de los alpechines a los ríos, e incluso su almacenamiento en balsas, otras alternativas para la eliminación de estos productos fueron cobrando fuerza con el paso del tiempo. Algunas son en realidad prácticas muy antiguas, como el *land treatment* y *land utilization*, que ahora veremos, aunque el estudio científico de su impacto sea relativamente reciente. Por otra parte, el compostaje a gran escala sí puede considerarse como una práctica de reciente aparición en el ámbito agroindustrial.

Land Treatment

Este proceso consiste en la infiltración de los alpechines en los suelos, donde se evapora el agua y queda retenido el resto de componentes. Este procedimiento está basado en la interacción física, química y microbiológica entre los componentes y microorganismos del suelo y el efluente (Fuller y Warrick, 1985). En el fondo lo que se pretende es su vertido en condiciones controladas.

Para ello es preciso que el suelo reúna una serie de características en cuanto a porosidad, permeabilidad y conductividad hidráulica, así como condiciones adecuadas de pluviosidad y evapotranspiración en la zona donde vaya a reciclarse (Dupuy De Lome y Martínez Bordiú, 1991). Ensayos en contenedores (López et al., 1992) y campo (López et al., 1995), en los que se aplicaron hasta 5000 y 6000 m³ ha⁻¹ anuales, respectivamente (durante tres años consecutivos) mostraron una alta capacidad de descontaminación asociada a los suelos, al mismo tiempo que

se detectó un aumento generalizado de la fertilidad de los mismos.

Land Utilization

Se denomina así a la utilización de los alpechines como fertilizantes, enmendantes o acondicionadores del suelo. Esta forma de aprovechamiento supone, por un lado, un considerable ahorro energético, ya que la producción de fertilizantes inorgánicos, especialmente los nitrogenados, tiene lugar con un consumo importante de combustibles fósiles no renovables; y de otro permite el aprovechamiento integral de sus contenidos en agua, materia orgánica y nutrientes (Fuller y Warrick, 1985; Rodrigo Román, 1990; Flouri et al., 1990; Tomati y Galli, 1992; Cabrera, 1994).

Esta aplicación debe hacerse bajo control técnico y no de modo indiscriminado para tratar de mantener el equilibrio del sistema suelo-planta (González Fernández et al., 1994).

Por consiguiente, su diferencia con el *land treatment* se basa esencialmente en que la dosis a aplicar es limitada, debiendo estar en consonancia con la tolerancia y características del cultivo al que se aplica y su interacción con las propiedades del suelo.

Compostaje

Muchos de los inconvenientes que plantea la eliminación de los alpechines podrían reducirse o eliminarse mediante co-compostaje con otros residuos agrícolas (orujo de uva, orujillo de aceituna, etc.) (Cabrera et al., 1992; Tomati y Galli, 1992; Cegarra et al., 1995; Tomati et al., 1995;

Martín-Olmedo, 1996).

Científicamente, el compostaje es definido como un proceso acelerado de degradación biológica aerobia, donde microorganismos (principalmente bacterias, hongos y actinomicetos) producen calor, dióxido de carbono, y una materia orgánica estabilizada, similar al humus de los suelos, con la que se puede contribuir directamente a acondicionar éstos y a su fertilización. Comparado con otros procesos, constituye un rápido, simple y seguro tratamiento de grandes volúmenes de residuos orgánicos (De Bertoldi et al., 1984; Thostrup, 1988).

Estos composts no muestran fitotoxicidad y sí efectos beneficiosos para la fertilidad de los suelos, como el aumento de bacterias fijadoras de nitrógeno, productoras de amonio, nitrificantes, etc. Además, su uso aumenta el poder de retención del agua del suelo y la capacidad de cambio catiónico y mejora las propiedades físicas del mismo (Amirante, 1990).

El potencial que ofrecen los composts a base de alpechín es enorme. Sólo en Andalucía podrían producirse alrededor de 180.000 Tm año⁻¹ a partir de los $2,1 \times 10^6 \text{m}^3$ de alpechín que se generan.

Podríamos citar como ejemplo, el caso del empresario D. José Montañó, quien en un principio tenía contratada la limpieza y mantenimiento de las balsas de varias almazaras de la comarca Estepa-Antequera. Animado por las cooperativas oliveras de estas comarcas, así como por diversos investigadores y profesores del CSIC (IRNAS incluido), INIA, y de la universidad de Sevilla, se inició en el reto de fabricar un compost a base de lodos de alpechín, y otros residuos agrícolas, que

tuviese suficiente calidad y garantías para poder ser utilizado con eficacia en la agricultura. De este modo, tras tres años de experimentación, consiguió introducir, en el difícil y competitivo mercado de los fertilizantes, el producto conocido como FERTIORMONT^R.

Desde un punto de vista legal, según el R.D. 877/1991 del 19 de Junio, Fertiormont^R cumple con los requisitos establecidos por la normativa para su inclusión en la categoría de compost, dentro de la catalogación realizada para "*Abonos orgánicos, organominerales y enmiendas orgánicas sólidas*".

Experimentos previos realizados con este compost sólido, pusieron en evidencia su madurez e idoneidad para su utilización agrícola (Cabrera et al., 1990; López, 1992; López et al., 1993; Murillo et al., 1995a; Martín-Olmedo, 1996).

En la actualidad, también pueden encontrarse comercializadas las siguientes formas de alpechines fermentados y desecados (Reina, 1994): PRECOBIOL^R, una enmienda orgánica a partir de pulpa de orujo y alpechín, y ADEXAL^R, una enmienda orgánica a partir de lodos desecados de alpechín.

Podríamos argumentar que si atendemos a la tendencia actual de implantación del sistema de dos fases, en el que prácticamente no se produce alpechín, sino un orujo que contiene toda la carga orgánica e inorgánica de aquel, el problema se trasladaría al nuevo orujo producido denominado por algunos "alperujo", que presenta una humedad más alta, lo que dificulta su secado para la extracción del aceite.

De esta forma, el problema se trasladaría a las orujeras, ya que en muchas extractoras se está tratando el alperujo con agua hirviendo para posterior centrifugación en tres fases, obteniéndose aceite virgen lampante (sin uso de disolvente orgánico), orujo y nuevamente alpechín.

Este sistema de extracción denominado "ecológico" está sustituyendo progresivamente a los demás sistemas y la mayor parte de las almazaras se están reconvirtiendo, pero de momento el secado del alperujo o su posible uso plantean nuevos problemas a resolver, de modo que el uso agrícola del alpechín debe tenerse en cuenta hasta la total implantación del sistema ecológico o para pequeñas almazaras que no se puedan permitir la sustitución (Cabrera, 1995).

1.2.4. Fertiormont líquido

El proceso de co-compostaje del alpechín con otros subproductos agrícolas, permite obtener además un producto líquido que puede ser utilizado como fertilizante muy útil para su aplicación en la moderna técnica de fertirrigación. Se obtiene a partir del producto sólido, cuyas partidas de más calidad, son depositadas en balsas muy similares a las utilizadas en la fase de evaporación-decantación del alpechín. En estas balsas se mezcla el residuo sólido con balas de paja y legumbres (para aumentar el contenido de nitrógeno), y con agua preferentemente de lluvia (en su defecto se regará). En este lugar se lleva a cabo un nuevo proceso de decantación natural acompañado de una fermentación de la mezcla realizada.

Este compuesto es dispersado mecánicamente en montones que son de nuevo irrigados con periquitos. La mezcla líquida así obtenida es almacenada en unos depósitos subterráneos, donde continúan realizándose fermentaciones naturales del compuesto.

El líquido así obtenido, pasa por fin a unos grandes evaporadores, en los que se mantiene una humedad adecuada, de modo que se favorezcan nuevas reacciones de tipo aeróbico y anaeróbico. De esta forma se obtiene el Fertiorment líquido propiamente dicho.

Según se ha indicado anteriormente, se trata de un producto líquido muy útil para fertirrigación, que según la normativa vigente (B.O.E. nº146 19/Junio/91), este producto puede ser considerado como una enmienda Húmico-Humígena, dado que su contenido de Extracto Húmico Total (29,2 % p/p) prácticamente duplica el mínimo establecido del 15 % p/p. Según Linares et al. (1993), su idoneidad para fertirrigación radica en:

- Conserva fértiles los suelos que se riegan con agua de mala calidad.
- Mejora y mantiene la estructura grumosa del suelo.
- Mejora y mantiene la infiltración en suelos de baja permeabilidad.
- Aumenta la capacidad de retención de agua (unas 15 veces sobre suelo sin tratar).
- Controla la alcalinidad y su ligera acidez le permite atacar las sales insolubles, en particular las de fósforo, con quien forma humofosfatos, fácilmente asimilables por la planta.
- Activa la eficacia de los abonos minerales y la eficacia de su aprovechamiento.

- Puede aumentar la capacidad de cambio catiónico de los suelos.
- Tiene gran capacidad quelatante, pudiendo desbloquear y poner los nutrientes en estado más fácilmente disponible para la planta.
- Activa y regenera la flora microbiana de los suelos (puede aportar 112×10^{12} colonias por ml).

Tabla 1.3. Composición del Fertiormont Líquido. Riquezas mínimas garantizadas. Valores referidos a materia seca, según Linares et al. (1993).

COMPONENTE	VALOR	COMPONENTE	VALOR
<i>Aminoácidos Libres</i>	6,05 g/l	<i>Magnesio</i>	0,78 %
<i>Aminoácidos Totales</i>	48,4 g/l	<i>Boro</i>	86 ppm
<i>A. Húmicos y Fúlvicos</i>	54 %	<i>Hierro</i>	3040 ppm
<i>Nitrógeno</i>	3 %	<i>Manganeso</i>	145 ppm
<i>Fósforo</i>	0,18 %	<i>Cinc</i>	20 ppm
<i>Potasio</i>	12 %	<i>Cobre</i>	11 ppm
<i>Materia Orgánica Soluble</i>	20 %	<i>Cobalto</i>	3 ppm
<i>Calcio</i>	1,95 %		

Así como en el caso del Fertiorment sólido (compost de alpechín) existe una copiosa bibliografía sobre sus posibilidades de uso como fertilizante orgánico, fruto de experimentos controlados de laboratorio, invernadero y campo (Breña, 1990; Cabrera et al., 1990; López, 1992; Tomati y Galli, 1992; Linares et al., 1993; López et al., 1993; Negro et al., 1994; Cegarra et al., 1995; Murillo et al., 1995; Martín Olmedo, 1996; etc.), en el caso del Fertiorment líquido son muy escasas las referencias bibliográficas de que se disponen, lo cual evidencia la necesidad de realizar experimentos controlados para poder cuantificar con precisión sus posibilidades como abono orgánico líquido.

Según la escasa documentación de que disponemos (Linares et al., 1993), este producto puede aplicarse a cualquier cultivo, aunque está especialmente recomendado para aquellos cultivos como cítricos, hortícolas, viñedos, plátanos y otros similares, que redundan en notables beneficios económicos para el agricultor. Tiene además la ventaja de que por su gran solubilidad se puede aplicar a cualquier sistema de riego (goteo, aspersión y manta).

En cuanto a la dosis a aplicar, ésta dependerá de si se aporta sólo o junto con abonos minerales tradicionales. En general, suele recomendarse que su aportación se haga de forma fraccionada, en dos o tres aportaciones en disolución del 5 al 10 %, dependiendo de la edad y características del cultivo. Siguiendo estas pautas, en horticultura y floricultura suelen recomendarse dosis de 50 a 60 l ha⁻¹ anuales, mientras que para frutales, y dependiendo de la especie y estado fenológico, la dosis puede variar desde 40 hasta 300 ml por árbol.

Teniendo en cuenta que se trata de un producto especialmente recomendado para fertirrigación, cabría preguntarse que efecto tendría su aplicación continuada durante un cierto período de tiempo, circunstancia que bajo determinadas condiciones de manejo podría resultar ventajosa para la operatividad de los sistemas agrícolas.

Por esta razón, se decidió acometer en el presente Proyecto Fin de Carrera, un estudio del efecto de diversas dosis de Fertiorment líquido, aplicadas de forma continua en varios riegos, a una especie que admite varios cortes y ofrece una rápida respuesta a las condiciones experimentales que se le impongan, como es el caso de *Lolium multiflorum* Lam. cv. Tewera, y a otra especie representativa de un cultivo tradicional de la zona, como es el maíz (cv. Prisma).

Con el fin de concentrar la acción del producto sobre el sistema radicular de las plantas ensayadas, los experimentos se realizaron en macetas, aplicando las diluciones por subirrigación en platillos destinados a tal fin, de forma que nunca se produjesen pérdidas por lixiviado.

En esta condiciones de trabajo, resultaba interesante comprobar en que condiciones quedaba el suelo después de los riegos aplicados, atendiendo especialmente a los posibles efectos negativos que pudieran derivarse de estos riegos para la germinación y emergencia de futuras semillas.

Lógicamente, necesitábamos contar con una dosis de Fertiorment razonablemente elevada para poder evidenciar estos efectos negativos potenciales, como de hecho se hizo, según se describirá a lo largo de la presente *MEMORIA*, en la que se han perseguido los siguientes objetivos:



II. OBJETIVOS

Con el presente trabajo se pretende conocer el efecto de distintas dosis de riego con una enmienda húmico-humígena, FERTIORMONT^R líquido, sobre el desarrollo de las plantas y propiedades de un suelo representativo de Andalucía, así como su efecto sobre la nascencia de futuras plántulas en el suelo, una vez tratado, en función de los siguientes objetivos:

1.- Análisis del producto Fertiormont^R líquido, así como de las distintas disoluciones empleadas en el ensayo, con el fin de conocer con exactitud las características de la partida ensayada y las cantidades de materia orgánica y nutrientes que se añaden al suelo en cada tratamiento, en función de la dosis empleada.

2.- Influencia de las distintas dosis de Fertiormont^R empleadas (1:200, 1:100 y 1:25, v/v) sobre los contenidos de humedad y producción de biomasa de las especies vegetales ensayadas: *ryegrass* y *maíz*.

3.- Influencia de las dosis citadas anteriormente sobre el equilibrio nutricional de las dos especies, atendiendo a intervalos de suficiencia y a normas DRIS en el caso del maíz, así como la influencia sobre la extracción global de nutrientes efectuada por las plantas.

4.- Influencia de las cantidades de Fertiormont^R líquido añadido al suelo, en función de los tratamientos seguidos, sobre propiedades seleccionadas del mismo, especialmente en lo que a materia orgánica y disponibilidad de nutrientes se refiere.

5.- Influencia de la cantidad de Fertiorment^R líquido añadido al suelo con cada tratamiento, y acumulado en el mismo (se evitaron las pérdidas por lixiviado, al trabajar con macetas sobre platillos) sobre la germinación y emergencia de nuevas plántulas sembradas en los suelos tratados (y control). Para ello se incluyó en este ensayo una especie sensible a posibles sustancias fitotóxicas: *Lepidium sativum* L.



***III. MATERIALES
Y METODOS***

III.1. MATERIALES

Los ensayos de este proyecto se han llevado a cabo en el Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla, perteneciente al C.S.I.C.; para ello se han utilizado las instalaciones necesarias que, tanto a nivel de laboratorio como de invernadero, posee dicha institución.

Relación de materiales usados:

- Macetas de plástico con capacidad aproximada para 1,5 Kg de suelo seco.
- Suelo calcáreo típico de la zona como sustrato.
- Fertilizante líquido definido como una enmienda húmica o humígena líquida.
- Abono mineral (Triple-15).
- Agua desionizada para el riego de los controles preparación de las disoluciones del fertilizante líquido.
- Semillas certificadas de maíz y rye-grass.
- Invernadero a "dos aguas" de cristal y ventilación controlable manualmente.

III.1.1. Abono Líquido Orgánico

Como enmienda húmica se ha usado un fertilizante orgánico comercializado como Fertiormont^R que lleva algunos años en el mercado; este producto líquido se obtiene a partir del compost de alpechín, compost que se elabora tras una evaporación previa de los alpechines, en balsas de almacenamiento y evaporación, que permite obtener lodos residuales de

alpechín, a partir de los cuales, mediante compostaje con otros residuos agro-industriales, se obtiene el producto sólido.

Efectivamente, cuando este residuo sólido se ^{composta?} completa con otros subproductos agrícolas (como ramón de olivo, orujo de uva, paja de leguminosas, etc.), y al conjunto se le somete a un proceso biooxidativo por el cual la materia orgánica es descompuesta bajo condiciones controladas, se obtiene finalmente compost (o materia orgánica estabilizada), que se comercializa como Fertiorment^R sólido.

Para la obtención del producto líquido se utilizan partidas debidamente seleccionadas, por su calidad, del producto sólido. Estas partidas son depositadas en balsas donde son mezcladas con balas de paja y legumbres, forzándose su humectación (con agua de lluvia o riego) para reiniciar un nuevo proceso de decantación-putrefacción en la masa así obtenida, la cual ha sido distribuida mecánicamente en una serie de montones.

La continua humectación de estos montones permite la obtención de unas mezclas líquidas que son recogidas en unos depósitos subterráneos, donde las fermentaciones naturales que se estaban produciendo se realizan con mayor intensidad. Posteriormente, el líquido pasa a unos evaporadores, donde se consigue una humedad óptima para la aparición de nuevas reacciones de tipo aeróbico y anaeróbico, obteniéndose así el Fertiorment^R líquido propiamente dicho (Linares et al., 1993).

Como es lógico, resulta imposible detallar con exactitud las

características y metodología particular de cada paso de este proceso, información que reserva la patente de la propia empresa. Lo que sí puede indicarse es que toda la tecnología aplicada en el proceso es española (Linares et al., 1993). El análisis de su composición forma parte del capítulo de Resultados y Discusión.

III.1.2. Abono inorgánico

Se ha usado un abono mineral comercial TRIPLE-15 granulado, el cual se molió para su completa homogeneización y asegurar así una distribución regular en las macetas utilizadas en el ensayo.

III.1.3. Substrato

Para este experimento se ha utilizado el primer horizonte de un suelo típico y representativo de la campiña andaluza, considerado como un suelo franco-arcillo-arenoso-calcáreo, que puede tratarse de un Xerochrept o Xerorthent calcáreo, procedente de la erosión de un Rhodoxeralf (De la Rosa et al., 1984).

Con el fin de evitar posibles problemas de compactación, dicho suelo se mezcló con perlita en la proporción 1:5 p/p. Algunas de sus características principales aparecen en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1. Propiedades Físicas y Químicas del Suelo.

PROPIEDAD	VALOR	PROPIEDAD	VALOR
<i>pH (agua)</i>	7,90	<i>K₂O (mg/ 100g)</i>	18,0
<i>CaCO₃</i>	27,0	<i>P₂O₅ (mg/ 100g)</i>	5,00
<i>Materia Orgánica(%)</i>	0,50	<i>P.-Olsen (ppm)</i>	4,00
<i>Nitrogeno (%)</i>	0,03	<i>C. C. C. *(meq/100g)</i>	10,0
<i>Arena Gruesa (%)</i>	45,3	<i>Calcio*(meq/ 100g)</i>	9,14
<i>Arena Fina (%)</i>	11,7	<i>Magnesio*(meq/100g)</i>	0,51
<i>Limo (%)</i>	20,8	<i>Sodio*(meq/ 100g)</i>	0,09
<i>Arcilla (%)</i>	22,2	<i>Potasio*(meq/ 100g)</i>	0,26

* Capacidad de Cambio Catiónico y Cationes de cambio.

III.1.4. Material Vegetal

Las especies utilizadas en nuestros ensayos fueron Ryegrass, Maíz y *Lepidium*.

- Ryegrass: *Lolium multiflorum* Lam. cv. Tewera; se utiliza esta planta por su relativa facilidad para la germinación y rebrote, así como por su resistencia y fácil manejo, considerándose una planta de amplio espectro experimental.

- Maíz: *Zea mays* L. cv. Prisma; se utiliza esta planta por ser de uso generalizado en el campo andaluz y ser uno de los cultivos más estudiados genética y agronómicamente en todo el mundo.

- *Lepidium*: *Lepidium sativum* L.; se usa esta planta por haber sido recomendada por la I.S.T.A (1985) para ensayos de germinación.

III.2. METODOS

III.2.1 Análisis del Fertiorront puro y disoluciones utilizadas en el ensayo

El análisis del Fertiorront, puro y en disoluciones, se ha efectuado siguiendo los Métodos Oficiales de Análisis del Ministerio de Agricultura (1986) para productos orgánicos y fertilizantes.

- DENSIDAD: mediante pesada de un volumen conocido de fertilizante líquido y de las disoluciones correspondientes.
- MATERIA SECA: el porcentaje de materia seca se realizó tras el secado a 105° C de un volumen conocido del fertilizante y sus diluciones, corrigiendo el resultado en función de las densidades correspondientes.
- pH: se midió directamente con un pHmetro Crison Digilab 517.
- CONDUCTIVIDAD ELECTRICA: se midió directamente en el producto y en sus diluciones con un conductivímetro digital, refiriendo el valor medido a una temperatura de 25°C.
- MATERIA ORGANICA POR CALCINACION: en las muestras secas, el contenido en materia orgánica se determinó por diferencia gravimétrica tras calcinación de las mismas a 550°C.
- EXTRACTO HUMICO TOTAL (EHT): su extracción se realizó con pirofosfato sódico 0,1 M e hidróxido sódico 0,1 N. Por cada 5 g del fertilizante, se añadieron 100 ml de extractante y se agitó durante una hora, centrifugándose posteriormente a 4500 rpm durante 20 minutos, dejándose decantar. Esta operación se repite tres o cuatro veces hasta obtener un

sobrenadante claro. El extracto húmico total (EHT) lo componen todos los sobrenadantes decantados en cada extracción, los cuales se enrasan a volumen final de un litro. En un erlenmeyer se coloca una alicuota conocida del EHT, la cual se evapora hasta sequedad y se añade dicromato potásico y ácido sulfúrico concentrado, agitando tras cada adición para obtener una mezcla homogénea. Se deja reposar durante 30 minutos para que ocurra la oxidación y se añade agua destilada y ácido fosfórico. Se deja enfriar y se añade el indicador (difenilamina), procediéndose a valorar el cromo no reducido mediante sulfato ferroso (sal de Mohr). Al mismo tiempo y del mismo modo se prepara un blanco, que servirá como comparación.

III.2.2 Preparación de los ensayos en macetas. Tratamientos

Para llevar a cabo los ensayos en invernadero se han usado macetas tronco-cónicas de 11 cm de diámetro y 12 cm de altura, con capacidad aproximada para 1,5 Kg de suelo seco.

El suelo se secó al aire y posteriormente se molió en mortero de porcelana y se paso por un tamiz de 2 mm de paso de luz. Su molienda se realizó para homogeneizar el tamaño de partícula. Este suelo, una vez seco y tamizado, se mezcló con perlita en una proporción 1:5 p/p. El material así preparado constituyó lo que podemos denominar material de partida o substrato base, con el que se prepararon los siguientes tratamientos.

- CONTROL (C). Se llenaron 6 macetas con el substrato base (3 para

- ryegrass y 3 para maíz), destinadas a su riego con agua desionizada.
- ABONO MINERAL (AM). Se llenaron 6 macetas de substrato base (3 para ryegrass y 3 para maíz), a las que se le aplicaron 0,323 g de abono mineral TRIPLE-15 por maceta. Sólo fueron regadas, durante su cultivo, con agua desionizada.
 - FERTIORMONT Dosis Baja (FB). Se dispuso igualmente de 6 macetas de substrato base con abono mineral (en la misma proporción que en el tratamiento anterior), destinadas a ser regadas con la solución más diluida de Fertiormont (dilución 1:200 v/v).
 - FERTIORMONT Dosis Media (FM). El substrato fue el mismo, regándose en este caso, con la solución media de Fertiormont (dilución 1:100 v/v), un total de 6 macetas (3 de maíz y de 3 rye-grass).
 - FERTIORMONT Dosis Alta (FA). Con este tratamiento se pretendió examinar posibles efectos fitotóxicos, con el mismo substrato, de una solución alta de Fertiormont (dilución 1:25 v/v). Como en casos anteriores, se dispuso de 3 macetas de ryegrass y 3 de maíz.

De esta forma se dispuso de un total de 30 macetas (15 por especie), las cuales fueron distribuidas al azar en el invernadero, aunque cada una de ellas sometida al tratamiento de riego correspondiente.

La siembra se efectuó con 1 g de semillas por maceta en el caso del ryegrass (3,38 g, peso de 1000 semillas), las cuales se enterraron a 1-2 cm de profundidad, y recibiendo cada maceta 3 riegos de 100 ml de agua desionizada por subirrigación para su humectación inicial.

En el caso del maíz, se sembraron 6 semillas por maceta, a una profundidad de 4-5 cm (330 g, peso de 1000 semillas), recibiendo igualmente el mismo riego por subirrigación.

La siembra se efectuó para ambas especies el día 23 de Febrero, comenzando la nascencia el día 1 de Marzo para el ryegrass, y el 6 de Marzo para el maíz.

III.2.3. Riegos

Los riegos se aplicaron de forma que todas las macetas de la misma especie (ryegrass o maíz), y en todos los tratamientos, recibieran la misma cantidad de líquido en cada riego, (de agua o de la correspondiente dilución de Fertiomont. Tabla 3.2)

Tabla 3.2. Distribución del riego según la especie vegetal.

<i>CULTIVO</i>	<i>N ° Riegos</i>	<i>Cantidad por Riego (ml)</i>
<i>Ryegrass</i>	<i>6</i>	<i>100- 150</i>
<i>Maíz</i>	<i>5</i>	<i>100- 125</i>

El maíz recibió un riego menos, porque el experimento con esta especie finalizó un mes antes que el del ryegrass. El cv. Prisma de maíz utilizado puede alcanzar los 3 m de altura en condiciones de campo (Murillo et al., 1990), por lo que no puede prolongarse demasiado su crecimiento vegetativo en macetas de dimensiones reducidas, como las

utilizadas en el ensayo.

III.2.4 Cortes efectuados y manejo del material vegetal

Maíz

La primera recolección de maíz se efectuó cuando las plántulas tenían un mes, dejando en cada maceta la plántula más vigorosa, la cual fue retirada unos 15 días más tarde, es decir, con unos 45 días de desarrollo.

En el momento del corte de esta plántula única, la altura media de las mismas era de 40 cm aproximadamente, aunque su estado fenológico estaba ligeramente más avanzado en los tratamientos con alguna fertilización (4 hojas y aparición de la 6^a) que en el control, sin fertilizar (4 hojas y aparición de la 5^a).

Ryegrass

En este caso se cortó la biomasa epígea de cada maceta, a los 25, 53 y 83 días desde la siembra (3 cortes en total).

El material vegetal recolectado en cada maceta, tanto de maíz como de ryegrass, se pesó en verde, secándose inmediatamente en estufa a 80°C durante 24 horas, para volverse a pesar de nuevo en seco. Tras esta

operación, el material vegetal se redujo a polvo fino mediante molienda, guardándose en sobres Pergut, los cuales se mantuvieron a 4° C en cámara fría hasta el momento del análisis de las muestras.

III.2.5 Análisis del material vegetal

Nitrógeno

Para la determinación de N se aplicó el método de Kjeldahl. El nitrógeno obtenido es fundamentalmente N_{PROTEICO} , además de las fracciones de N_{UREICO} Y N_{AMONICAL} que pueda llevar la planta, por lo que en realidad se debe de hablar de determinación de N orgánico total (no incluye las fracciones NO_3^- y NO_2^-).

El método se basa en la digestión del material vegetal con H_2SO_4 y catalizador de Se, que transforma el N_{ORGANICO} en N_{AMONICAL} , determinándose esta fracción colorimétricamente en un autoanalizador, según la reacción de Berthelot, en la que se forma un complejo de azul indofenol cuando el NH_4 reacciona con el fenato sódico tras la adición de NaClO . Se parte de 0,2 g de muestra seca, expresándose los resultados en tanto por ciento.

Método de rutina para la mineralización de la muestra:

La mineralización de la muestra tiene por objeto eliminar cualquier resto de materia orgánica que pudiera interferir en el análisis de los

elementos minerales.

Se pesan en cápsulas de porcelana 0,5 g de muestra molida y seca a 70°C durante un periodo mínimo de 2 h, quemándose posteriormente en vitrina hasta su completa incineración. La calcinación se completa en horno eléctrico a una T de 500° C hasta la obtención de cenizas blancas o grises, proceso que requiere un periodo aproximado de 3-4 h.

Posteriormente, las cenizas son humectadas con agua bidestilada, añadiéndose 2 ml de HCl concentrado, evitando siempre que se produzca efervescencia. En estas condiciones la muestra es calentada en baño de arena hasta que comiencen a desprenderse humos blancos. A continuación se filtra con papel Whatman y se lleva a volumen de 50 ml con agua bidestilada.

En el extracto así obtenido se realiza el análisis de macro y micronutrientes.

Fósforo

El método se basa en la formación del complejo fosfato-vanadato-molibdato para su determinación colorimétrica (Pinta et al., 1969), expresándose los resultados en porcentaje sobre materia seca.

Potasio y Sodio

Se efectúa su determinación mediante fotometría de llama. En ambos casos, los resultados se expresan en porcentaje sobre materia seca.

Calcio, Magnesio, Hierro, Manganeso, Zinc y Cobre

La determinación de todos estos elementos fue realizada por espectrofotometría de absorción atómica (Pinta et al., 1973). Para la determinación de Ca se debe adicionar a la alícuota correspondiente una cantidad conocida de una solución de La al 3 % en medio clorhídrico, para evitar las interferencias de Si, P, Al e Fe (Pinta et al., 1971).

Se expresan los resultados en porcentaje en el caso de Ca y Mg y en mg kg^{-1} en el caso del Fe, Mn, Zn y Cu, siempre sobre materia seca.

Boro

Para su determinación se calcina la muestra a 400°C , disolviéndose el producto de la calcinación en ácido acético al 5 %. El B se determina colorimétricamente por el método de la quinalizarina en medio sulfúrico frente a una curva patrón y blanco correspondiente (Barbier y Chabannes, 1953).

Azufre

La digestión de la muestra se realizó con nitrato magnésico, según las indicaciones del A.O.A.C. (1975), efectuándose su determinación por turbidimetría como sulfato bórico (Bardsley y Lancaster, 1965). El método se basa en la oxidación del S vegetal y precipitación con bario del sulfato así obtenido por turbidimetría frente a una curva patrón y blanco, preparada en las mismas condiciones que los problemas.

Equilibrio Nutricional en Maíz: Metodología DRIS

Para el cálculo de los índices DRIS (*Diagnosis and Recommendation Integrated System*) se siguieron las indicaciones de Walworth y Sumner (1987), aplicando las normas DRIS para maíz propuestas por Elwali et al. (1985), tal como las presentan Jones et al. (1990).

III.2.6. Análisis del suelo tratado

III.2.6.1. Actividades Enzimáticas

Los ensayos de las actividades enzimáticas se realizaron de acuerdo con los procedimientos descritos por Tabatabai (1984). Las determinaciones se efectuaron sobre suelo seco, y por triplicado. En la Tabla 3.3 se recogen estos métodos, con la introducción de leves modificaciones.

Ureasa

A la muestra de suelo de 5 g. se le añaden 0,2 ml de tolueno, 9 ml de tampón M tris (hidroximetil) aminometano (THAM) pH 9, y 1 ml de solución 0.2 M de urea disuelta en el citado tampón. Se incuba a 37° C durante 2 horas. Posteriormente se adiciona 50 ml de KCL 2 M, y se toma una parte alícuota para medir el NH₄ liberado por electrodo selectivo, según el método descrito por Barwart et al. (1972). La actividad se expresa

en $\mu\text{g N-NH}_4^+ \text{ g}^{-1}\text{h}^{-1}$.

Se deben realizar controles con cada suelo analizado, para obtener el N-NH_4 que no deriva de la hidrólisis de la urea por la actividad ureasa. Para ensayar estos controles se sigue el procedimiento descrito anteriormente, con la salvedad de que la adición de 1 ml de la solución de urea, se realiza con posterioridad a la inubación y adición de 50 ml de solución de KCL.

Fosfatasa Alcalina

Se añade a la muestra de 1g de suelo, 0,2 ml de tolueno, 4 ml de disolución de tampón universal modificado (MUB) pH 11 y 1 ml de solución 0,05 M de paranitrofenil fosfato, disuelto en la misma solución tampón. Se incuba a 37°C durante 1 hora, se añaden 1 ml de Ca Cl₂ 0,5 M y 4 ml de NaOH 0,5 M.

Seguidamente, se procede a centrifugar, y medir la intensidad del color amarillo, por espectrofotometría a 410 nm . La concentración de paranitrofenol liberado como consecuencia de la actividad fosfatasa, se calcula a partir de una curva de calibrado con patrones adecuados de paranitrofenol (PNF).

Se deben realizar controles con cada suelo ensayado, para averiguar el color que no se deriva del paranitrofenol producido por la actividad fosfatasa. El procedimiento para efectuar los controles se basa en añadir el substrato (1 ml de paranitrofenol fosfato), con anterioridad a la

centrifugación, de forma que éste es el único aspecto modificado en el protocolo analítico, al igual que con la ureasa. La actividad fosfatasa alcalina se expresa en $\mu\text{g PNF g}^{-1}\text{h}^{-1}$.

Arilsulfatasa

Añadir a 1g de muestra, 0,2 ml de tolueno, 4 ml de tampón acetato 0,5 M pH 5,8 y 1 ml de solución 0,025 M de paranitrofenil sulfato disuelto en tampón acetato. Se incuban las muestras a 37°C durante 1 hora, y se añaden posteriormente 1 ml de CaCl_2 0,5 M y 4 ml de NaOH 0,5 M, seguidamente se valora la actividad arilsulfatasa en la misma forma que se hace para la actividad fosfatasa, incluida la realización de controles. La expresión de los resultados es en $\mu\text{g PNF g}^{-1}\text{h}^{-1}$.

β -Glucosidasa

El ensayo para la determinación de esta actividad, es similar al seguido con la medida de la actividad fosfatasa. Varía únicamente en el caso del tampón, que es MUB pH 6.0, y el substrato añadido, que es en este caso 1 ml de solución 0,05 M de paranitrofenil- β -D-glucopiranosido.

Se debe proceder a la realización de controles, según el procedimiento descrito para la fosfatasa. La actividad de la β -glucosidasa se expresa en $\mu\text{g PNF g}^{-1}\text{h}^{-1}$.

Deshidrogenasa

A una muestra de 3 g se le añade una pequeña cantidad (30 mg) de CaCO_3 , 0,5 ml de solución acuosa al 3% de 2,3,5-trifeniltetrazoliumcloruro (TTC), 1,5 ml de agua destilada, y se procede a incubar a 37°C durante 24 horas. Transcurrido este periodo, se filtra la suspensión de suelo a través de un embudo de cristal con algodón como filtro, y se llena el filtrado hasta 50 ml con metanol, lavando sucesivas veces el algodón filtrante hasta que pierda la coloración rojiza.

Una vez ajustado el volumen a 50 ml con metanol, se mide la intensidad de la coloración rojiza, mediante espectrofotometría a 485 nm , y se calcula la cantidad de trifenil formazan (TPF) liberado tomando como referencia una curva de calibración de patrones adecuados. Es necesario realizar controles según el procedimiento detallado anteriormente para la fosfatasa. La actividad deshidrogenasa se expresa en $\mu\text{g TPF g}^{-1}\text{h}^{-1}$.

Tabla 3.3. Métodos usados en los ensayos enzimáticos.

Anexo ?

ENZIMA	SUSTRATO	TAMPON	TMRA	TIEMPO	PRODUCTO	METODO
Ureasa	Urea	THAM (pH 9)	37°C	2 h	Amoníol	Electrodo Selectivo
Fosfatasa ALK	p-N.Fenil fosfato sódico	MUB (pH 11)	37°C	1 h	p-Nitrofenol	Espectrofotom. A_{410}
Arilsulfatasa	p-N-F. Sulfato potásico	Acetato 0,5 M (pH 5,8)	37°C	1 h	p-Nitrofenol	Espectrofotom. A_{410}
β -Glucosidasa	p-Nitro-Fenil β -D-glucopiranosido	MUB (pH 6)	37°C	1 h	p-Nitrofenol	Espectrofotom. A_{410}
Deshidrogenasa	2,3,5 Trifeniltetrazolium cloruro (TTC)	-	37°C	24 h	Trifenil formazán	Espectrofotom. A_{415}

TAMPON, TEMPERATURA Y TIEMPO, corresponden a condiciones de incubación.

III.2.6.2. Determinaciones Químicas

Conductividad Eléctrica (C.E.)

Para ello se tomaron 5 g de suelo y se mezclaron con 25 ml de agua desionizada. Tras agitación de la muestra durante 1 h, se dejó decantar el suelo midiéndose la conductividad en el sobrenadante claro, refiriéndose las lecturas a una T de 25°C.

Materia Orgánica Oxidable (M.O.Ox)

Su determinación se llevó a cabo según el método clásico de Walkley Black (1934). El porcentaje de carbono orgánico se obtiene a través de una valoración "redox", consistente en añadir a la muestra de suelo una solución N de dicromato potásico, que oxida la materia orgánica presente, valorándose el exceso de dicromato con sal de Mohr (solución 0,5 N de sulfato ferroso-amónico), empleándose difenilamina como indicador.

El porcentaje de materia orgánica se obtiene multiplicando el contenido en carbono por el factor empírico de 1,724.

Nitrógeno Kjeldahl (N)

Para la determinación del N-Kjeldahl, las muestras de suelo, junto con una mezcla de H₂SO₄, K₂SO₄ y Se metálico, se sometieron a digestión a 380°C hasta la clarificación de la fase líquida. Se añadió agua hasta un

volumen de 50 ml y se determinó el contenido en N-total por microdestilación Kjeldahl (Bremmer, 1965).

Fósforo Disponible (P)

La determinación de P se llevó a cabo por el método de Olsen et al. (1954), consistente en la extracción del P con una disolución de NaHCO_3 0,5 N a pH 8,5. En el extracto se determinó el P extraído por colorimetría, con molibdato amónico y ácido ascórbico como reductor (Murphy y Riley, 1962; Watanabe y Olsen, 1965). El color azul formado fue medido frente a una curva patrón a 880 ηm . Los resultados se expresaron como mg P kg^{-1} de suelo.

Potasio disponible (K)

El potasio disponible (soluble+cambiable) fue extraído con acetato amónico a pH 7,0 (Schollenberger y Simon, 1945). El K se midió en las muestras filtradas, mediante fotometría de llama frente a curvas patrón de potasio. Los resultados se expresaron como mg K kg^{-1} de suelo.

Hierro, Manganeso, Zinc y Cobre disponibles (Fe, Mn, Zn y Cu)

Su extracción se realizó con DTPA a partir de 15 g de suelo, según

Lindsay y Norvell (1978), mediante extracción con solución (30ml) 0,005 M de DTPA (dietilamino-pentaacético), 0,01 M de TEA (trietanolamina) y 0,01 M de cloruro cálcico, a ph 7,3. Su determinación se efectuó por absorción atómica frente a las correspondientes curvas patrón, y corrección según blanco.

III.2.7. Ensayos de germinación con el suelo tratado.

Con el fin de comprobar el efecto que pudiera tener la acumulación de Fertiorment^R en el suelo, sobre la germinación posterior de las semillas sembradas bajo esas condiciones, se decidió efectuar un bioensayo de germinación con los suelos tratados, utilizando para ello semillas de especies sensibles a la presencia de fitotóxicos, como son de *Lepidium* o *Ryegrass*.

Para ello se toman 3 g de suelo de cada uno de los tratamientos del ensayo con ryegrass (en el que se acumuló mayor cantidad de Fertiorment^R en el suelo), los cuales se depositaron en placas Petri de 5 cm de diámetro, humectándose cada cápsula con 5 ml de agua desionizada. Una vez humectadas, se colocó en cada una de ellas un papel de filtro para facilitar la colocación de las semillas, 4 en el caso de *Lepidium* y 3 en el caso del *Ryegrass*.

Se dispuso de 5 repeticiones por tratamiento, para cada especie, lo que supuso un total de 50 placas Petri, las cuales fueron distribuidas al

azar en cámara oscura a T ambiente. El número de semillas germinadas y longitud de la raíz se midió a las 24, 48 y 72 horas de comenzado el experimento, calculandose el índice de germinación (IG) según la expresión:

$$IG = G Gc^{-1} \times L Lc^{-1} \times 100$$

donde:

G = % de semillas germinadas.

Gc = % de semillas germinadas en el control.

L = longitud media de las raíces.

Lc = longitud media de las raíces en el control.

III.2.8. Estudio estadístico de los Resultados

Los datos de todos los ensayos fueron sometidos a un análisis de la varianza, efectuándose la separación de las medias mediante el test de Tukey, adoptándose un nivel de significación de $P < 0.05$ durante todo el trabajo.



IV. RESULTADOS

IV.1 CARACTERIZACION DEL PRODUCTO Y APOORTE DE NUTRIENTES EFECTUADO CON LAS DISOLUCIONES DEL MISMO

IV.1.1. Caracterización del producto

Las tablas 4.1 a 4.4 recogen los resultados obtenidos en el análisis del producto FERTIORMONT^R utilizado en este estudio, producto que según se ha indicado anteriormente, se utiliza con gran aceptación en nuestra comunidad autónoma como enmienda húmica (Linares et al., 1993).

La tabla 4.1 recoge el análisis del producto puro, tal y como se suministra al agricultor (para que lo diluya según sus necesidades), mientras que las tablas 4.2 a 4.4 recogen el análisis de las distintas disoluciones empleadas en este estudio (FB:dosis baja; FM:dosis media; FA:dosis alta).

Tabla 4.1. Análisis del producto Fertiormont puro.

PARAMETROS	VALOR	PARAMETROS	VALOR
<i>Conduct. Eléctrica (dS/m)</i>	11,60	<i>Fósforo total (ppm)</i>	1100
<i>Sustancia Seca (%p/p)</i>	41,70	<i>Potasio total (ppm)</i>	35300
<i>Cenizas (%p/p)</i>	6,59	<i>Calcio total (ppm)</i>	2200
<i>Materia Orgánica (%p/p)</i>	35,1	<i>Magnesio total (ppm)</i>	500
<i>Ext. Húmico Total (%p/p)</i>	29,2	<i>Hierro total (ppm)</i>	3670
<i>Acido Húmicos (%p/p)</i>	1,5	<i>Cobre (ppm)</i>	3
<i>Acidos Fulvicos (%p/p)</i>	27,7	<i>Manganeso (ppm)</i>	34
<i>Relación C/N</i>	12,3	<i>Cinc (ppm)</i>	8
<i>N- Kjeldahl (% N p/p)</i>	0,96	<i>Sodio total (ppm)</i>	900

Se trata de un producto que, según se indicó con anterioridad, puede ser considerado como una enmienda húmica líquida según la normativa vigente (BOE nº 146, 19/Junio/91), que exige un contenido mínimo de extracto húmico del 15%. En nuestro caso, el producto presenta una concentración del 29,2% (Tabla 4.1), casi el doble del mínimo exigido.

Aunque su conductividad eléctrica es alta, hay que tener en cuenta que este tipo de productos suele llevar una cantidad importante de sólidos en suspensión que pueden interferir con la lectura de este parámetro, sin que delaten un problema real de salinidad. Los valores de conductividad eléctrica de las disoluciones ensayadas (Tablas 4.2 a 4.4), que son las que verdaderamente aplica el agricultor, son razonablemente bajos, teniendo en cuenta sobre todo que las sales predominantes son potásicas y férricas. Tabla 4.2. Dosis Abono Baja (FA).

PARAMETROS	VALOR	PARAMETROS	VALOR
<i>Conduct. Eléctrica (dS/m)</i>	0,58	<i>Fósforo total (ppm)</i>	6
<i>Sustancia Seca (%p/p)</i>	0,2	<i>Potasio total (ppm)</i>	66
<i>Cenizas (%p/p)</i>	0,022	<i>Calcio total (ppm)</i>	8
<i>Materia Orgánica (%p/p)</i>	0,172	<i>Magnesio total (ppm)</i>	2
<i>N-Kjeldahl (% N p/p)</i>	0,0038	<i>Hierro total (ppm)</i>	26

Tabla 4.3. Dosis Abono Medio (FM).

PARAMETROS	VALOR	PARAMETROS	VALOR
<i>Conduct. Eléctrica (dS/m)</i>	1,02	<i>Fósforo total (ppm)</i>	14
<i>Sustancia Seca (%p/p)</i>	0,46	<i>Potasio total (ppm)</i>	138
<i>Cenizas (%p/p)</i>	0,066	<i>Calcio total (ppm)</i>	36
<i>Materia Orgánica (%p/p)</i>	0,40	<i>Magnesio total (ppm)</i>	6
<i>N-Kjeldahl (% N p/p)</i>	0,0088	<i>Hierro total (ppm)</i>	53

Tabla 4.4. Dosis Abono Alto (FA).

PARAMETROS	VALOR	PARAMETROS	VALOR
<i>Conduct. Eléctrica (dS/m)</i>	3,44	<i>Fósforo total (ppm)</i>	54
<i>Sustancia Seca (%p/p)</i>	1,91	<i>Potasio total (ppm)</i>	1094
<i>Cenizas (%p/p)</i>	0,303	<i>Calcio total (ppm)</i>	113
<i>Materia Orgánica (%p/p)</i>	1,61	<i>Magnesio total (ppm)</i>	23
<i>N-Kjeldahl (% N p/p)</i>	0,012	<i>Hierro total (ppm)</i>	191
<i>Manganeso (ppm)</i>	2	<i>Cinc (ppm)</i>	1

Efectivamente, el contenido de Na del producto sin diluir ($0,9 \text{ g l}^{-1}$) es aceptable en aguas de riego, aunque teniendo siempre en cuenta que sólo se trata de un valor orientativo, ya que, aunque importante, lo fundamental es conocer si el Na aportado se va acumulando en el suelo o es lixiviado lejos de la zona de influencia de las raíces.

Por otra parte, se trata de un producto con un contenido de materia orgánica razonablemente elevado, lo que lo hace muy interesante para su utilización agrícola, dada la creciente escasez de materia orgánica en nuestros suelos de labor (Felipó, 1996). Su relación C/N está además bastante equilibrada, lo que hace prever una lenta liberación de N para las plantas, nunca excesiva, dado que la concentración de este nutriente es moderada (próxima al 1%).

También destaca la elevada concentración de K del producto, lo que unido a su razonable concentración de Ca hace todavía menos problemática la presencia de Na, aspecto discutido anteriormente. Su riqueza en Fe convierte al producto en una vía útil para corregir, parcialmente, la clorosis férrica (Linares et al., 1993). Su contenido en otros metales

pesados es bajo, por lo que su aplicación continuada a los suelos no plantea problemas en este sentido.

Indicar por último que así como en la generalidad de los nutrientes se ha observado una razonable proporcionalidad entre las diluciones efectuadas (1:25, 1:100 y 1:200) y las correspondientes concentraciones obtenidas (Tablas 4.1 a 4.4), no se apreció esta proporcionalidad para el N en el caso de la dilución 1:25, (tratamiento FA), sin que por el momento sepamos la causa.

Además del error inherente a cualquier metodología analítica es posible que hayan concurrido otros factores externos durante el proceso de dilución, no controlados, causantes de una concentración de N, en principio, demasiado baja para la dilución 1:25.

También puede haber influido la heterogeneidad del producto, parámetro que ha podido influir en la composición de las distintas alícuotas tomadas para su análisis. De todas formas es un aspecto que aún se sigue estudiando. Para los efectos de nuestro trabajo, se ha decidido tomar el valor medio de N obtenido al analizar diversas muestras de la disolución efectuada.

IV.1.2. Cantidad de nutrientes aportados con las distintas dosis de FERTIORMONT

Las Tablas 4.5 y 4.6 recogen las cantidades de nutrientes que se habrían aportado por hectárea con las distintas dosis de FERTIORMONT

ensayadas. Para realizar estos cálculos se han tenido en cuenta las cantidades totales aplicada en cada caso (550 ml en el caso de maíz y 750 ml en el del ryegrass), asumiendo que el peso de la capa arable de un suelo de tipo medio es de $3 \cdot 10^6$ kg. Teniendo en cuenta que todos los tratamientos han recibido una fertilización de fondo, equivalente a unos 225 kg N ha⁻¹, 100 kg P ha⁻¹ y 200 kg K ha⁻¹, resulta evidente que en todos los casos se cubren las necesidades básicas de la mayoría de los cultivos, recogidas en el Tabla 4.7. De ahí que no nos preocupase excesivamente la precisión de la medida del N correspondiente a la dosis más alta de FERTIORMONT, dado que se satisfizo plenamente la finalidad de este tratamiento, originar una toxicidad potencial por exceso de nutrientes (N especialmente).

Tabla 4.5. Nutrientes aportados en el ryegrass.

NUTRIENTES	DOSIS BAJA (Kg ha ⁻¹)	DOSIS MEDIA (Kg ha ⁻¹)	DOSIS ALTA (Kg ha ⁻¹)
NITROGENO	140	320	430
FÓSFORO	22	50	198
POTASIO	235	498	3937
CALCIO	29	130	384
MAGNESIO	7,2	22	82
HIERRO	94	187	686
MANGANESO			8

Tabla 4.6. Nutrientes aportados en el maíz.

NUTRIENTES	DOSIS BAJA (Kg ha ⁻¹)	DOSIS MEDIA (Kg ha ⁻¹)	DOSIS ALTA (Kg ha ⁻¹)
NITROGENO	103	230	312
FÓSFORO	16	37	144
POTASIO	173	365	2885
CALCIO	21	96	283
MAGNESIO	5,3	16	60
HIERRO	69	139	504
MANGANESO			6

Cabe destacar una vez más las cantidades tan altas de K y Fe que se pueden llegar a aportar con este producto, aspecto que debe ser tenido muy en cuenta a la hora de considerar el equilibrio nutricional de los cultivos, lo cual será abordado en capítulos posteriores. De los restantes nutrientes, las cantidades aportadas son bajas. Sólo cabría destacar los 6-8 Kg ha⁻¹ de Mn aportados con la dosis alta, cantidad inferior a los 30 Kg Mn ha⁻¹ frecuentes en agricultura (Mengel y Kirkby, 1987). Sin embargo, la respuesta vegetal al Mn fue espectacular bajo los tratamientos con F, según se vera más adelante.

Tabla 4.7. Cantidades de nutrientes extraídos por varios cultivos (Tabla tomada de Mengel y Kirkby, 1987).

CULTIVO	Tm ha ⁻¹	N*	P*	K*	Ca*	Mg*	S*	Cu**	Mn**	Zn**
<i>Para grano</i>										
<i>Cebada</i>	2,2	40	8	10	1	2	3	34	30	70
<i>Trigo</i>	2,7	56	13	14	1	7	3	33	100	160
<i>Avena</i>	2,9	55	10	14	2	3	6	34	134	56
<i>Maíz</i>	9,5	150	27	37	2	9	11	66	100	170
<i>Para heno</i>										
<i>Alfalfa</i>	10	200	20	170	125	24	21	66	500	470
<i>Trébol Rojo</i>	6	110	13	95	77	19	8	45	500	400
<i>Fleo</i>	6	66	13	90	20	7	6	35	340	220
<i>Otros cultivos</i>										
<i>Remolacha</i>	50	20	250	40	300	50	50	-	-	.
<i>Caña de azúcar</i>	75	110	27	250	31	26	26	-	-	-
<i>Algodón (fibra)</i>	1,7	45	11	14	2	4	3	66	120	350
<i>Tomates</i>	50	130	20	250	8	12	15	80	145	180

* Kg ha⁻¹; ** g ha⁻¹.

IV.2 RESPUESTA DEL RYEGRASS Y MAIZ A SU APLICACION. PRODUCCION DE BIOMASA

IV.2.1 Ryegrass

Tanto la adición del fertilizante convencional, como de FERTIORMONT, aumentó significativamente, respecto al control, las cantidades de biomasa producida por el ryegrass (peso verde y seco) en los tres cortes efectuados (Fig.IV.1.). En la generalidad de los casos, los incrementos de peso verde fueron mayores que los de peso seco, circunstancia lógica si se tiene en cuenta que una buena nutrición nitrogenada conduce a una mejor hidratación de los tejidos vegetales (Bailey, 1973)

En la Tabla 4.8 puede comprobarse que el porcentaje de humedad de las plantas de ryegrass que fueron fertilizadas, siempre resultó mayor que el de las plantas control, con diferencias que, salvo contadas excepciones, resultaron significativas ($P < 0,05$).

Tabla 4.8. Contenido de humedad en ryegrass.

TRATAMIENTOS	1 ^{er} CORTE (%)	2 ^{do} CORTE (%)	3 ^{er} CORTE (%)
C	88,42 a	80,42 a	82,61 a
A M	90,11 b	85,54 b	84,20 ab
F B	90,24 b	87,18 cb	85,36 ab
F M	90,54 b	88,18 cd	87,26 ab
F A	90,00 b	89,48 d	87,38 ab

Valores seguidos por una misma letra, en una misma columna, no difieren significativamente ($P < 0,05$).

En el primer corte, los incrementos de peso verde, respecto al control, oscilaron entre un 335 % (tratamiento FA) y un 350 % (tratamiento AM). Estos mismos valores fueron respectivamente 277 % y 285 % en el caso del peso seco. En el segundo corte estos incrementos fueron menores, excepto en el caso del peso verde obtenido con la dosis alta de FERTIORMONT (326 %), que fue del mismo orden que el obtenido en el primer corte.

Mientras que en el primer corte no se produjeron diferencias significativas de peso verde entre los tratamientos que recibieron fertilización (Fig.IV.1., AM, FB y FA), alcanzándose un valor ligeramente más alto con el tratamiento AM, en el segundo corte apareció ya la primera diferencia significativa entre estos tratamientos, diferencia que reflejó la mayor cantidad de biomasa conseguida con el tratamiento FA. También se observó esta diferencia cuando se consideraron los pesos secos (Fig.IV.1.).

En el tercer corte, el efecto acumulativo de la dosis alta de FERTIORMONT resultó espectacular. Mientras el tratamiento control, sin fertilización de ningún tipo, el descenso en la producción de biomasa fue muy acusado (sólo 0,69 g de peso verde frente a los 3,17 g del primer corte), la dosis alta de F logró mantener un ritmo de producción de biomasa bastante razonable, alcanzándose todavía 8 g en el tercer corte, frente a los 14,67 g del primero. Esto hizo que en este tercer corte, el incremento de peso verde respecto al control conseguido por la dosis alta de F superase el 1000 %, siendo superior a 700 % el incremento de peso seco. Los incrementos ocasionados por los restantes tratamientos no fueron

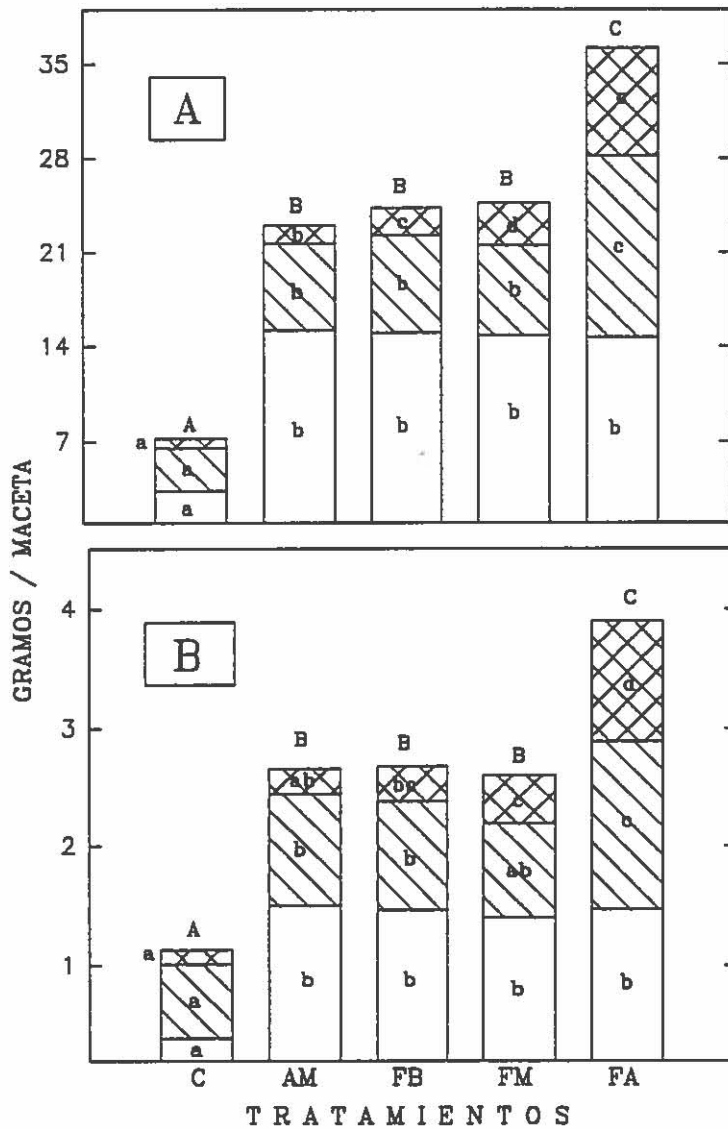


Fig. IV. 1. Producción de peso verde (A) y peso seco (B) del ryegrass en el primer corte (blanco), segundo corte (rayado) y tercer corte (cruzado). Barras o fracciones de barras del mismo color, con una misma letra, no difieren significativamente ($P < 0,05$). Tratamientos C (control), AM (abono mineral), FB, FM y FA (dosis baja, media y alta de FERTIORMONT)..

más allá del 350 % (peso verde, FM) y 240 % (peso seco, también FM).

Por consiguiente, los resultados obtenidos con el ryegrass prueban que la aplicación de F resultó muy beneficiosa para esta planta, incluso con una concentración sensiblemente superior a la que se aplica normalmente en agricultura. Hay que tener en cuenta, además, que en estos ensayos los efectos del producto fueron magnificados, al concentrar su acción en un volumen muy reducido de suelo, sin posibilidad de pérdida o redistribución en capas más profundas, por lixiviado.

Ello parece indicar que bajo condiciones de campo, aún podrían utilizarse concentraciones más altas, sin peligro de toxicidad para la planta, aunque en este caso habría que tener en cuenta factores económicos, aspecto que no forma parte de los objetivos del presente estudio.

IV.2.2. Maíz

La idea de utilizar maíz se debió al hecho de que se trata de una planta mucho más sensible que el ryegrass a condiciones adversas del medio, por lo que la adición de una dosis alta de FERTIORMONT podría haberle perjudicado, al menos durante las fases iniciales de su crecimiento.

Sin embargo, ello no fue así, según muestra la Fig.IV.2. Inicialmente, plántulas de un mes, el abono mineral fue el tratamiento que ocasionó mayores pesos verde y seco, entre los que aplicaron algún

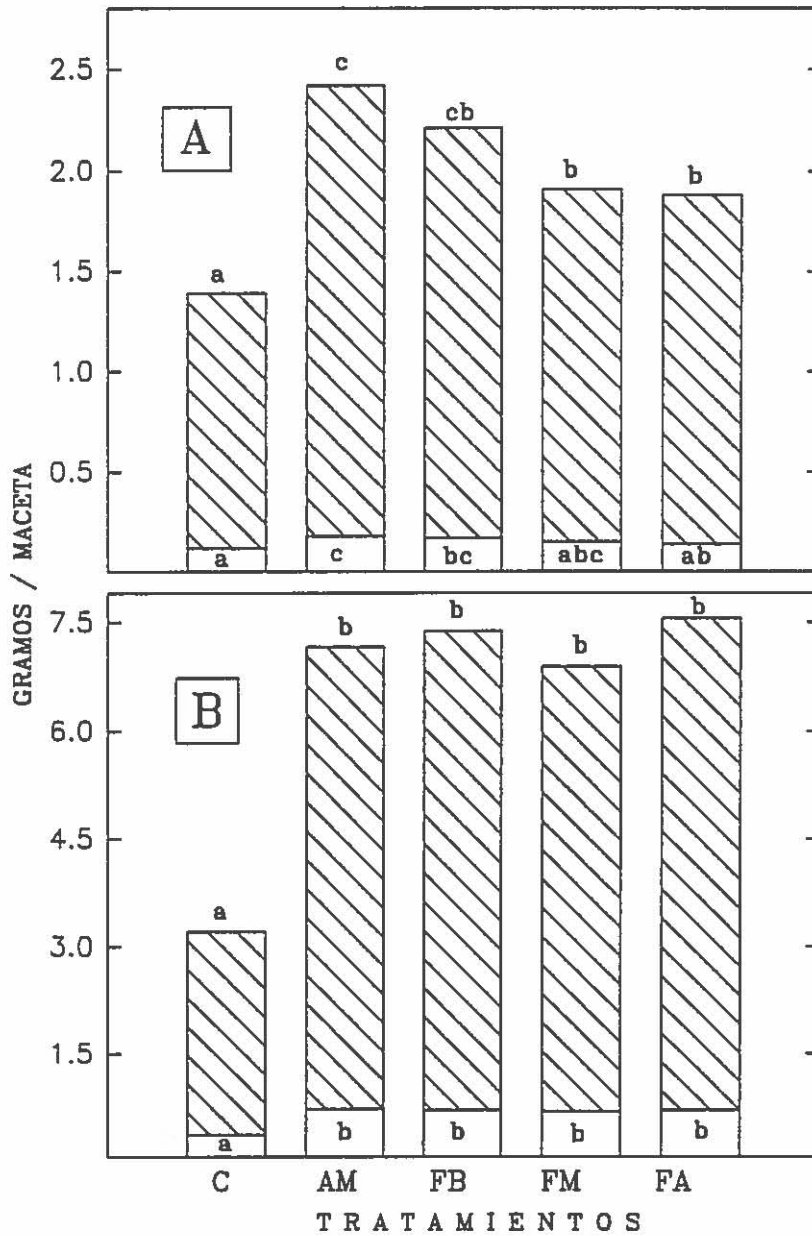


Fig. IV. 2. Valores medios de peso verde (rayado) y peso seco (blanco) de plántulas de de maíz de un mes (A) y de 45 días (B), en función de los tratamientos control (C) abono mineral (AM) y dosis baja, media y alta de FER-TIORMONT (FB, FM y FA). Barras y secciones de barras con una misma letra no difieren significativamente ($P < 0.05$).

fertilizante. Las dosis más altas de F ralentizaron ligeramente el crecimiento inicial de las plántulas, respecto a los tratamientos AM y FM, con diferencias de peso significativas ($P < 0,05$) en ocasiones, especialmente respecto al tratamiento AM.

Sin embargo, esta ligera ralentización inicial del crecimiento de las plántulas de maíz, ocasionada por las dosis más altas de F, tratamientos FM y FA, no puede considerarse como un efecto negativo del producto, dado que, como el resto de los tratamientos fertilizantes, AM y FB, ocasionaron aumentos de peso respecto a las plántulas del control, aunque en el caso del peso seco todavía no llegaron a ser significativos ($P < 0,05$).

Pero el hecho de que en el caso del peso verde estos aumentos fuesen significativos, respecto al control, era un fiel exponente de que incluso las dosis más altas del producto (tratamientos FM y FA) no estaban ocasionando problemas de tipo osmótico para el desarrollo de las plántulas, las cuales, según muestra la Tabla 4.9, alcanzaron contenidos de agua superiores a los de las plántulas del control, aunque la diferencia sólo resultó significativa para el tratamiento FA.

Tabla 4.9. Contenido de humedad en maíz.

TRATAMIENTOS	1 ^{er} CORTE (%)	2 ^{do} CORTE (%)
C	90,46 a	87,43 a
AM	91,93 b	88,83 b
FB	91,70 ab	89,50 b
FM	91,40 ab	88,93 b
FA	91,86 b	89,70 b

Valores seguidos por una misma letra, en una misma columna, no difieren significativamente ($P < 0,05$).

La ligera ralentización inicial del crecimiento observada en plántulas de un mes desapareció por completo en plantas de 45 días. En la Fig.IV.2. se comprueba que las diferencias de peso verde y seco, respecto al control, fueron cada vez mayores, incluidos los pesos correspondientes a los tratamientos FM y FA.

La Tabla 4.9 también muestra que las diferencias en el contenido de humedad, respecto al control, fueron incrementándose, fruto posiblemente de una mejor nutrición nitrogenada ocasionada por los tratamientos que incluyeron fertilización. Como indica Bailey (1973), una fertilización nitrogenada abundante ocasiona mayores contenidos de humedad y turgencia en las plantas. En este sentido, resultó interesante comprobar cómo la mayor dosis de F aplicada ocasionó el mayor contenido de humedad de la planta, con una diferencia que resultó significativa respecto al control (Tabla 4.9).

Esto prueba una vez más que la progresiva concentración de F, incluso en dosis tan alta como la aplicada con el tratamiento FA, nunca creó problemas de tipo osmótico a la planta, problemas que podrían haber interferido negativamente sobre la absorción radicular de agua.

Cuando se examinaron las fracciones hoja y tallo de las plantas de maíz de 45 días (Fig.IV.3.), se comprobó que, respecto al control que no fue fertilizado, la fertilización, en conjunto, incrementó en mayor medida el peso seco de los tallos. Los incrementos del peso del tallo oscilaron entre 122 y 133 %, mientras que los de peso de hoja lo hicieron entre 78 y 93 %.

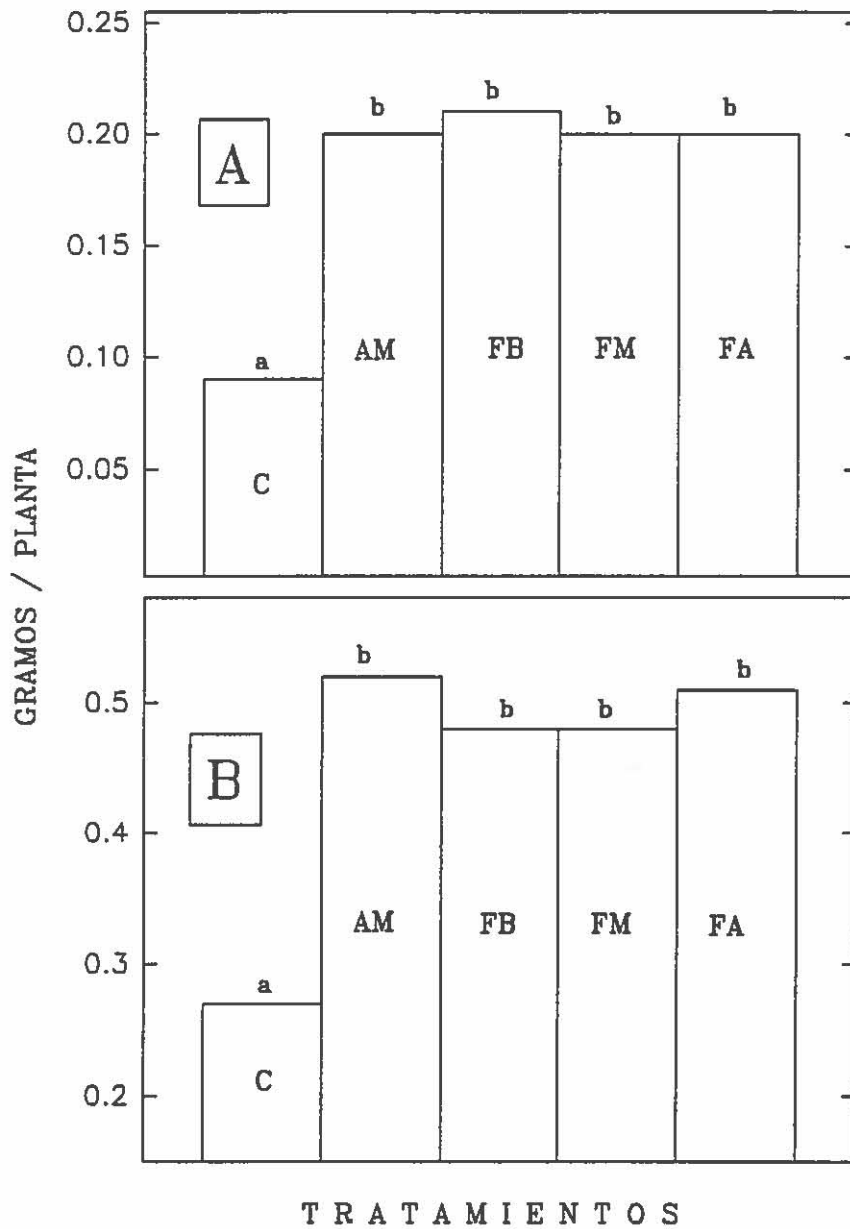
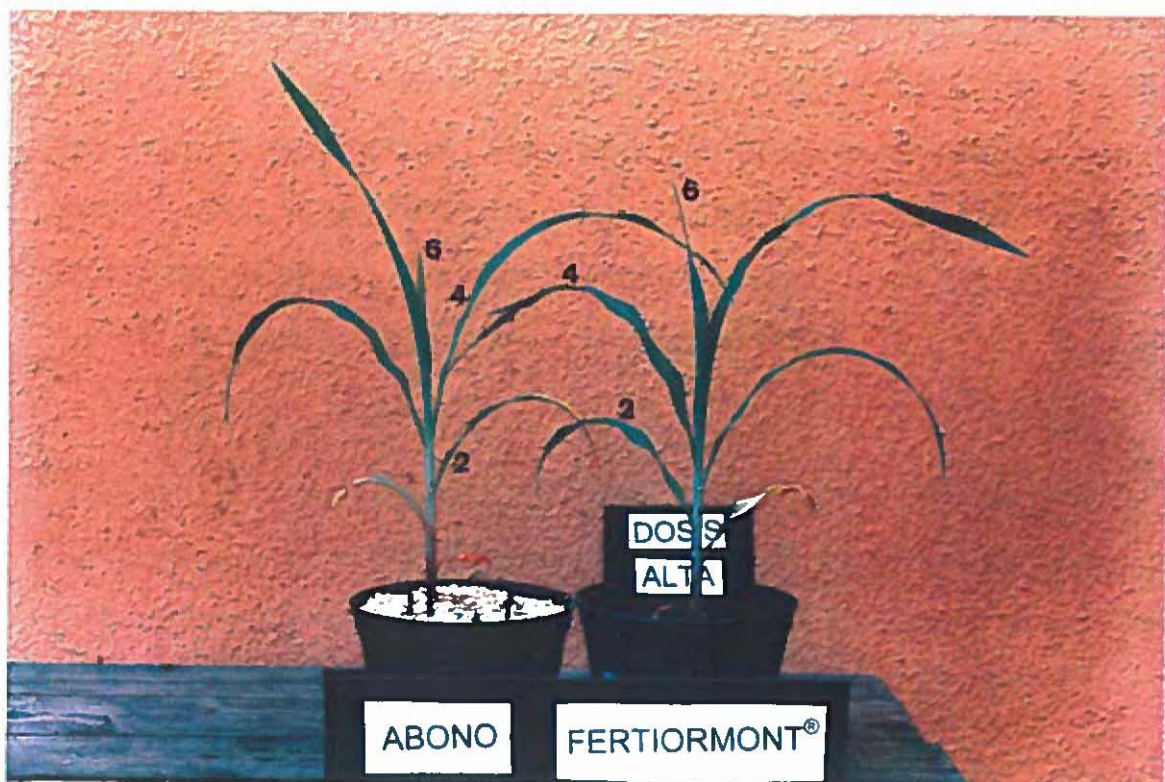


Fig. IV. 3. Valores medios de peso seco de tallo (A) y hoja (B) de las plantas de maíz de 45 días, en función de los tratamientos Control (C), abono mineral (AM) y dosis baja, media y alta de FERTIORMONT (FB, FM y FA). Barras con letras iguales no difieren significativamente ($P < 0.05$).

Ahora bien, entre tratamientos fertilizantes, las mayores variaciones se produjeron en el caso de la fracción hoja, a la que incrementaron en mayor medida, respecto al control, los tratamientos AM (93 %) y FA (89%). El incremento ocasionado por las dosis media (tratamiento FM) y baja (tratamiento FB) de F fue sólo del 78 %. El hecho de que la mayor dosis de F favoreciera algo más el desarrollo de la fracción de la planta más activa desde un punto de vista fotosintético, constituye una prueba más de la absoluta carencia de riesgos a la hora de tener que aplicar dosis altas de este producto.



REVISTA DE AGRICULTURA Y AGROBIOLOGIA
 BOLETIN DE LA COMISION NACIONAL DE INVESTIGACIONES CIENTIFICAS Y TECNICAS
 OTECA



Desarrollo de las plantas de maíz en los tratamientos control, abono mineral y dosis baja y alta de FERTIORMONT. En la fotografía inferior se comparan los tratamientos abono mineral y dosis alta de FERTIORMONT, pudiéndose observar mayor desarrollo de la última hoja (6) bajo el tratamiento con FERTIORMONT.

IV.3. PARAMETROS NUTRICIONALES

Conviene indicar, antes que nada, que los resultados nutricionales obtenidos en este ensayo proceden de plantas cultivadas en pequeñas macetas, donde siempre se magnifica la posible influencia de efectos interactivos (cambios en la solubilidad de un nutriente, difusión hacia la raíz, cambios en el balance anión/catión, variaciones de translocación en el interior de la planta) o no-interactivos (fenómenos de dilución o concentración de nutrientes), debido a que se fuerza extraordinariamente el contacto del sistema radicular con la masa del suelo.

Ello hace que los resultados así obtenidos, no siempre sean extrapolables a condiciones reales de campo. Sin embargo, proporcionan una información muy valiosa de la validez que como fertilizante puede tener un determinado producto, "sugiriendo" en cierta medida lo que, a largo plazo, podría ocurrir bajo condiciones de campo, cuando el producto se acumula en el suelo tras aplicaciones sucesivas, o cuando se realizase un aporte masivo del mismo en una sola aplicación.

Por otra parte, también es muy importante tener en cuenta que la concentración de cualquier nutriente en una planta, en un momento determinado, es la resultante de la integración de dos procesos dinámicos, absorción/transporte del nutriente y acumulación de materia seca (Jarrell y Beverly, 1981), siendo necesario tener en cuenta esta circunstancia a la hora de interpretar los resultados obtenidos.

En este sentido, Jarrell y Beverly (1981) recomiendan tener en cuenta tres factores básicos para estudiar la influencia de las variaciones medioambientales (naturales o inducidas, como puede ser la fertilización) sobre la nutrición de una planta: acumulación total del nutriente, concentración del nutriente y producción de biomasa. La adecuada conjugación de estos tres factores permitirá obtener una visión real de la adecuación, o no, de un determinado producto a las necesidades del cultivo.

Existen muchos ejemplos en la bibliografía donde se pone de manifiesto que la aplicación de un nutriente, con el fin de superar una situación carencial, ocasionó tales aumentos del crecimiento vegetal que, no sólo la concentración del nutriente en cuestión, sino la de otros elementos básicos, resultó más baja en las plantas tratadas que en las carenciales. También se han citado casos de toxicidad ocasionados por nutrientes potencialmente tóxicos, fruto de la concentración tan alta alcanzada ante el reducido crecimiento que estaban ocasionando.

Teniendo en cuenta todas estas consideraciones, la presentación de los resultados se realizará comentando conjuntamente los datos de concentración y extracción epígea (acumulación epígea total), teniendo siempre en cuenta la producción de biomasa ocasionada por los diferentes tratamientos, aunque este parámetro está implicado en el dato de acumulación epígea total.

IV.3.1. Concentración y extracción de nutrientes en ryegrass

IV.3.1.1. Macronutrientes

La aplicación de FERTIORMONT resultó extraordinariamente beneficiosa para la nutrición nitrogenada de la planta, dado que en los tres cortes efectuados (Tablas 4.10, 4.11 y 4.12) incrementó su concentración en los tejidos vegetales, con una diferencia que resultó significativa respecto al control (tratamiento C). Además, el efecto positivo del F fue aumentado conforme mayor iba siendo su acumulación en el suelo, esto es, en cortes sucesivos (no hubo lixiviado de nutrientes), de forma que en el segundo y tercer corte, la concentración N correspondiente a los tratamientos con F (FB, FM y FA) incluso superó significativamente a la de las plantas tratadas con abono mineral (cuya concentración de N ya se había igualado a la del control en el tercer corte, una vez consumido el N aportado).

El efecto positivo del F también fue reflejado por el hecho de que, en general, la mayor concentración de N la ocasionó el tratamiento FA, con diferencias significativas respecto a los tratamientos FB y FM en el segundo y tercer cortes (Tablas 4.11 y 4.12).

Teniendo en cuenta que la producción de peso seco (Fig. IV.1.) y la extracción epígea total del nutriente (Tabla 4.13) siguieron esta misma pauta, estaríamos ante un claro ejemplo de lo que Jarrel y Beverly (1981) denominaron sinergismo, esto es, efecto positivo del F tanto sobre los procesos de absorción del nutriente como sobre el crecimiento.

Tabla 4.10. Valores medios de concentración de nutrientes en el 1^{er} corte de ryegrass.

TRATAM	NUTRIENTES									
	MACRONUTRIENTES (% sobre materia seca)						MICRONUTRIENTES (mg Kg ⁻¹)			
	N	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Mn	Zn	Cu
C	1,72 a	0,19 a	4,87 a	1,13 c	0,21 b	0,39 a	160,5 b	98,5 a	65,0 b	11,0 a
A M	2,35 b	0,37 b	5,97 b	0,98 b	0,19 ab	0,41 b	117,5 a	74,5 a	14,5 a	10,5 a
F B	2,35 b	0,38 b	7,24 c	0,90 a	0,18 a	0,25 a	130,5 a	166,2 b	145,5 c	11,5 a
F M	2,37 b	0,36 b	7,14 c	0,87 a	0,20 b	0,25 ab	120,5 a	218,5 cb	65,0 b	11,0 a
F A	2,41 b	0,26 a	6,96 c	0,94 b	0,19ab	0,24 a	160,5 b	269,0 c	46,5 b	11,5 a

Valores seguidos por una misma letra, en una misma columna, no difieren significativamente (P<0.05).

Tabla 4.11. Valores medios de concentración de nutrientes en el 2^{do} corte de ryegrass.

TRATAM	NUTRIENTES									
	MACRONUTRIENTES (% sobre materia seca)						MICRONUTRIENTES (mg Kg ⁻¹)			
	N	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Mn	Zn	Cu
C	0,71 a	0,13 a	2,83 a	1,96 c	0,21 a	0,17 b	107,5 a	118 a	13,5 a	5,3 a
A M	1,07 b	0,32 b	4,36 b	1,44 b	0,21 a	0,13 ab	285,0 ab	159 a	32,0 b	25,5 b
F B	1,40 c	0,43 d	5,56 c	1,54 b	0,26 c	0,10 a	376,5 b	420 b	41,5 cb	24,5 b
F M	1,70 d	0,45 d	5,92 d	1,26 b	0,29 d	0,12 a	273,5 ab	545 c	45,0 c	32,0 b
F A	2,24 e	0,39 c	6,89 e	0,93 a	0,23 b	0,11 a	182,5 a	539 c	39,0 cb	27,7 b

Valores seguidos por una misma letra, en una misma columna, no difieren significativamente (P<0.05).

Tabla 4.12. Valores medios de concentración de nutrientes en el 3^{er} corte de ryegrass.

TRATAM	NUTRIENTES									
	MACRONUTRIENTES (% sobre materia seca)						MICRONUTRIENTES (mg Kg ⁻¹)			
	N	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Mn	Zn	Cu
C	1,06 a	0,18 a	2,03 a	1,35 b	0,34 b	0,28 b	50 a	82 a	45 a	9 a
A M	1,06 a	0,33 b	3,20 b	2,16 c	0,35 b	0,31 b	282 c	159 b	47 a	9 a
F B	1,38 b	0,36 c	4,19 c	1,60 b	0,33 b	0,25 ab	301 c	187 b	44 a	6 a
F M	1,63 c	0,51 d	4,49 c	0,99 a	0,33 b	0,29 b	120 b	196 b	69 b	10 b
F A	1,88 d	0,38 c	5,86 d	0,79 a	0,28 a	0,24 a	122 b	328 c	110 c	12 b

Valores seguidos por una misma letra, en una misma columna, no difieren significativamente (P<0.05).

En el caso del P no siempre se produjo este fenómeno sinérgico observado para el N, ya que aunque los tratamientos fertilizantes aumentaron significativamente la concentración de P respecto al control ($P < 0,05$), excepto el tratamiento FA en el primer corte (Tabla 4.10), con este tratamiento, FA, se produjo cierto nivel de antagonismo en esta fase, respecto a los restantes tratamientos fertilizantes: más baja acumulación (dato no presentado) y concentración, pero igual producción de biomasa.

En principio, la única conclusión que podemos obtener de este resultado, es que la concentración de P registrada en los tratamientos AM, FB y FM podría considerarse, en principio, ligeramente excesiva, dado que la alcanzada por el ryegrass en el tratamiento FA (0,26 %, primer corte) ocasionó un crecimiento similar al obtenido en los restantes tratamientos.

En el segundo y tercer corte se produjo ya un claro efecto de "dilución" del nutriente cuando se aplicó la máxima dosis de F, dado que junto a un aumento de la producción de materia seca y extracción epigea de P (dato este último no presentado), se asistió a una disminución en la concentración del mismo (Tabla 4.11 y 4.12).

Por otra parte, cuando se examinan las extracciones globales epigeas efectuadas por el ryegrass (Tabla 4.13), se comprueba que, respecto al control, los mayores incrementos correspondieron al P, cuya extracción en el tratamiento FA fue 7,4 veces mayor que la del control, mientras que las de N y K sólo fueron 6,5 y 6,6 veces mayores, respectivamente. Algo similar ocurrió con los restantes tratamientos fertilizantes. Este hecho parece confirmar que, efectivamente, en el caso del P pudo llegar a existir

cierto consumo de lujo en determinadas fases del desarrollo, promovido por la fertilización. En el caso del K, se observó un efecto muy positivo del F sobre las concentraciones del nutriente, y que éstas siempre fueron más altas, significativamente ($P < 0,05$), que las obtenidas con los tratamientos C y AM en los tres cortes efectuados. Respecto al control siempre hubo un efecto sinérgico, ya que tanto las concentraciones y extracciones, como la biomasa producida en los tres tratamientos con F fueron mayores. Este efecto sinérgico completo se produjo también respecto al tratamiento AM en el tercer corte, cuando más tiempo llevaba actuando el F en el suelo.

Es interesante comprobar que se produjo un acusado paralelismo en el "pattern" de absorción del N y del K, lo que pone una vez más en evidencia la importante interacción que puede producirse en la dinámica nutricional de ambos nutrientes. Cuando se examinan las extracciones globales epigeas efectuadas por el ryegrass (Tabla 4.13), se comprueba que todos los tratamientos fertilizantes ocasionaron incrementos similares de N y K, del orden de 3,6 en el caso de AM, 4,2 en el de FB, 4,3 en el de FM y de 6,6 en el de FA. Una fertilización eficaz de N, debe pues ir acompañada de un suministro suficiente de K.

Tabla 4.13. Extracciones epigeas totales en el ryegrass (mg maceta⁻¹).

TRATAM	NUTRIENTES									
	MACRONUTRIENTES						MICRONUTRIENTES			
	N	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Mn	Zn	Cu
C	12,4 a	1,8 a	38 a	18,2 a	2,5 a	2,9 a	0,14 a	0,12 a	0,04 a	0,01 a
A M	47,6 b	9,3 b	138 b	33,0 b	5,6 b	8,1 c	0,51 b	0,30 a	0,26 b	0,04 a
F B	51,3 b	10,7 b	170 b	32,1 b	5,4 b	4,8 b	0,63 c	0,69 b	0,26 b	0,04 a
F M	53,3 b	10,7 b	166 b	26,3 b	6,4 b	5,8 b	0,44 b	0,82 b	0,15 b	0,09 b
F A	81,1 c	13,3 c	259 c	35,2 b	9,3 c	6,3 b	0,62 c	1,50 c	0,24 b	0,17 c

Valores seguidos por una misma letra, en una misma columna, no difieren significativamente ($P < 0,05$).

En el caso del Ca, se produjo un típico ejemplo de "dilución" del nutriente, ocasionado por los tratamientos fertilizantes. En los cortes 1º y 2º, la concentración de Ca disminuyó significativamente en estos tratamientos, respecto a la obtenida en el tratamiento control (Tablas 4.10 y 4.11), mientras que sus biomasa y extracciones epígeas aumentaron, o fueron del mismo orden (extracciones epígeas de Ca en el 2º corte, dato no presentado).

Por consiguiente, el ritmo de absorción de Ca resultó inferior al de producción de biomasa, en estos primeros cortes, quedando diluido el elemento en un mayor volumen vegetal, aunque las cantidades globales extraídas continuasen siendo superiores a las realizadas por el control (Trat. C).

En el tercer corte, todavía se apreció claramente este efecto de "dilución" en el caso de los tratamientos FB, FM y FA, fruto del notable ritmo de crecimiento que aún estaban imponiendo. Sin embargo, en el caso del tratamiento AM, ya se observó cierto efecto sinérgico, como consecuencia de una mejor adecuación entre la absorción y ritmo de crecimiento impuesto por el tratamiento, respecto al control, lo que ocasionó, no sólo una mayor biomasa y extracción epígea, sino también una concentración de Ca significativamente más alta.

En el caso de este nutriente, sometido casi durante todo el ensayo a un proceso de "dilución" en los tratamientos que recibían fertilización, se produjeron los menores incrementos, respecto al tratamiento control (C), cuando se consideraron las extracciones epígeas globales (Tabla 4.13),

incrementos que oscilaron entre 1,4 (tratamiento FM) y 1,9 (tratamiento FA).

En el caso del Mg, salvo casos aislados en los que el ritmo de crecimiento llegó a ocasionar una "dilución" del nutriente (concretamente, tratamiento FB, 1^{er} corte, y tratamiento FA, 3^{er} corte, en los que la concentración resultó significativamente más baja que la del control), la fertilización siempre produjo un efecto sinérgico, fruto de la adecuación del ritmo de crecimiento a la absorción del nutriente, lo que motivó mayores extracciones y concentraciones similares o significativamente más altas que las del control (Tablas 4.10, 4.11 y 4.12).

Por consiguiente, no es extraño que al considerar las extracciones epigeas globales (Tabla 4.13), se compruebe que, aún sin llegar a los incrementos observados en el caso de N, P y K, los tratamientos fertilizantes ocasionaran, comparativamente, mayores aumentos de Mg que de Ca.

En el caso del Na, la aplicación de FERTIORMONT ocasionó, en general, una dilución del nutriente, debido a que su ritmo de absorción fue ligeramente inferior al de producción de biomasa (Tabla 4.8). Este efecto se produjo en todas las dosis de F ensayadas. Por el contrario, salvo en el segundo corte, el tratamiento AM tendía a ocasionar un efecto sinérgico sobre la absorción de Na (siempre tomando como referencia el tratamiento control).

Este efecto sinérgico resultó especialmente claro en el primer corte, dado que biomasa, concentración y extracción aumentaron con el

tratamiento AM, no sólo respecto al control, sino también respecto a los tres tratamientos con FERTIORMONT. Teniendo en cuenta que la fertilización mineral de base (triple 15), también iba incluida en los tratamientos con F, cabe pensar que, en este primer corte, la aplicación de esta enmienda húmica "limitó" en cierta medida el efecto potenciador del abono mineral sobre la toma de Na.

Este efecto potenciador de abonos minerales que incluyen N sobre la toma de Na, ha sido recogido por la bibliografía especializada desde hace mucho tiempo (Griffith et al., 1965; Nowakoski et al., 19974; Smith et al., 1980_{a, b}; Murillo et al., 1990; Barraclough y Leigh, 1993; López et al., 1993; Murillo et al., 1997). El fenómeno se producía con especies natrófilas (capaces de absorber, transportar y tolerar cantidades relativamente altas de Na) que crecían a un ritmo lo suficientemente elevado, impuesto por el N, como para convertir en "crítica" la disponibilidad de K del substrato. En esas circunstancias, el Na comenzaba a sustituir al K, aumentando para ello su absorción.

Bajo las condiciones de nuestro ensayo, resulta difícil pensar en situaciones críticas para la disponibilidad del K, añadido en todos los tratamientos fertilizantes con el abono triple 15. Por consiguiente, la acción "limitante" del F sobre la toma de Na, respecto al tratamiento AM, debió radicar en una fuerte acción competitiva K-Na, originada como consecuencia del aporte adicional de K que se realiza con el F.

Se trata de un hecho importante, ya que, al margen del interés fisiológico que encierran las posibles interacciones entre nutrientes, nos

está indicando que el F es un producto beneficioso para su utilización en condiciones salinas (originadas por el agua de riego, características del suelo, contaminaciones), ya que el K que aporta puede competir con el Na por su entrada en la planta. Mientras las concentraciones de K del ryegrass procedentes de los tratamientos con F siempre fueron las más altas, las de Na tendían a ser más bajas (Tablas 4.10, 4.11 y 4.12).

IV.3.1.2. Micronutrientes

Aunque en ocasiones se ha indicado que las fertilizaciones N-P-K podían inducir deficiencias de algunos micronutrientes, cuya disponibilidad y absorción podía no adecuarse al fuerte ritmo de crecimiento impuesto por el abonado N-P-K, además de fenómenos puramente competitivos (Clark, 1982; El-Fouly et al., 1984; Jones et al., 1991), en nuestro caso no se han observado efectos negativos de la fertilización sobre la dinámica nutricional de Fe, Mn, Zn y Cu. En realidad, los efectos fueron positivos en general, según se discute a continuación.

En este sentido es importante tener en cuenta que se partía de un substrato cuya disponibilidad en estos micronutrientes era razonablemente elevada (CAP.III, Tab. 3.1) aspecto básico para la respuesta posterior de la planta. Jones et al. (1991) indican que, por ejemplo, la interacción N-Cu puede ser positiva en suelos donde la disponibilidad de Cu sea adecuada, mientras que pueden surgir deficiencias de Cu si la disponibilidad del mismo es excesivamente baja.

En el caso del Fe, las concentraciones siempre fueron muy altas, aunque en el primer corte se observó un proceso de dilución como consecuencia de la aplicación de los tratamientos AM, FB y FM. Las concentraciones más altas correspondieron a los tratamientos control y FA (Tabla 4.10). Por el contrario, en cortes posteriores, el tratamiento FA (y también el FM) ocasionó concentraciones de Fe más bajas que las registradas en los restantes tratamientos fertilizantes (Tablas 4.11 y 4.12), aunque siempre muy superiores a las registradas en el tratamiento control. Cabe pensar que el efecto sinérgico que, en general, ocasionó la fertilización sobre la toma de Fe, fue algo menor en el caso de estos dos tratamientos, debido quizás a que la sincronización entre crecimiento y absorción no fue tan adecuada como en otros casos. Sin embargo, se trata de un hecho de escasa importancia, dado que los niveles de Fe en planta siempre fueron satisfactorios.

El Mn experimentó un comportamiento muy similar al del Fe, dado que en la generalidad de los casos se observó un efecto sinérgico, respecto al tratamiento control, de los tratamientos que aportaron fertilización. Sólo en el primer corte (Tabla 4.10), se registró cierto efecto de "dilución" del nutriente como consecuencia de la aplicación del tratamiento AM, que ocasionó una concentración más baja que la del control, aunque no significativamente. También se registró este efecto en el caso del Fe. En el caso de este micronutriente, cabe destacar dos hechos realmente notables. En primer lugar, llama la atención que la adición de M.O. al suelo con los tratamientos a base de F¹ nunca tendían a limitar las

¹ En ocasiones se utiliza esta abreviatura (F) para referirnos al FERTIORMONT.

concentraciones de Mn en planta. Y en segundo lugar, que no es que llegaran a limitarla, sino que, por el contrario, ocasionaran concentraciones muy elevadas, especialmente con las dosis más altas aplicadas (tratamientos FM y FA; Tablas 4.10 a 4.12).

Este aumento tan espectacular de la concentración de Mn, ocasionado por la presencia del F en cantidades importantes, contrasta con numerosas citas bibliográficas que refieren un posible efecto depresivo de la materia orgánica aplicada a los suelos sobre la absorción vegetal de ese nutriente (Wallace y Wallace, 1983; Gallardo-Lara y Nogales, 1987), incluido el ryegrass (Gallardo-Lara et al., 1986).

En trabajos anteriores, las concentraciones más altas de Mn detectadas en el ryegrass, sobre un suelo similar, oscilaron entre los 120 y 150 mg kg⁻¹ (Murillo et al., 1993; 1995), valores muy inferiores a los algo más de 500 mg Kg⁻¹ ocasionados por los tratamientos FM y FA en el segundo corte (Tabla 4.11).

Por consiguiente, el efecto depresivo de la M.O. sobre la concentración de Mn no debe tratarse de un proceso generalizado, dado que, por una parte, existen trabajos realizados con ryegrass en los que no se observó (Hernández, 1989; Molina, 1993; Luque, 1993; Rivera, 1994), y por otra, un producto húmico como el F, parece que puede potenciar extraordinariamente la absorción de Mn por la planta. Se trata de un tema que, por su interés, convendría seguir estudiando en el futuro.

Convendría seguirlo estudiando porque esta acción positiva observada en el caso de Mn, también se ha observado en el caso del Zn y

del Cu, aunque no de forma tan ostensible. Todo ello parece indicar que la presencia de F aumenta la disponibilidad de los micronutrientes del suelo, según se discutirá más adelante, lo cual se traduce en una mayor absorción por parte de la planta, aspecto muy positivo para su aplicación en zonas donde fuesen previsibles situaciones carenciales.

En el caso del Zn y del Cu, también puede hablarse de un efecto generalizado de sinergismo, salvo dos casos de "dilución" de Zn registrados en el primer corte efectuado al ryegrass, ocasionados por los tratamientos AM y FA, en los que la concentración de Zn resultó inferior a la del tratamiento control, especialmente en el caso del tratamiento AM (Tabla 4.10), como consecuencia de un ritmo de crecimiento algo más intenso que la absorción del nutriente. En cortes posteriores ya no se observó este efecto, fruto de una mejor sincronización entre ambos procesos.

Inicialmente (1^{er} corte), las concentraciones de Zn disminuyeron conforme aumentaba la dosis de F, alcanzándose la mayor concentración de todas las registradas en el ensayo, 145 mg Kg⁻¹, con el tratamiento FB, siendo estadísticamente significativas las diferencias respecto a las concentraciones registradas en los demás tratamientos ensayados.

En el segundo corte, los tres tratamientos con F ocasionaron similares concentraciones de Zn, mayores, significativamente, que las del control y que la del tratamiento AM en el caso del tratamiento FM (Tabla 4.11). Y ya en el tercer corte se registró un comportamiento inverso al observado en el primero, esto es, las concentraciones mayores

correspondieron a las dosis más altas de F, con diferencias significativas entre estos tratamientos.

Las concentraciones de Zn, resultaron en general satisfactorias para cubrir las necesidades fisiológicas del ryegrass, salvo en el caso del tratamiento control, y sólo en el 2º corte, en el que se registró una concentración próxima al nivel "crítico", próximo a los 15 mg Kg⁻¹ admitido para la generalidad de las plantas superiores (Mengel y Kirkby, 1987). Según Jones et al. (1991) un intervalo de 14-20 mg Kg⁻¹ de Zn es suficiente para cubrir las necesidades de un ryegrass.

En el caso del Cu, y según el criterio de estos mismos autores, las necesidades del ryegrass siempre habrían estado cubiertas, dado que a partir de una concentración de 8 mg kg⁻¹ sobre materia seca, los niveles registrados podrían ser definidos como altos (Jones et al., 1991). Por consiguiente, concentraciones próximas a 5 mg Kg⁻¹, registradas en dos ocasiones durante el ensayo, todavía serían suficientes (Tabla 4.11).

Al margen de estas concentraciones, comparativamente bajas, los tratamientos que incluyeron fertilización (incluido el tratamiento AM), ocasionaron concentraciones (Tabla 4.11), y sobre todo extracciones (Tabla 4.13) de Cu muy superiores a las del control. En el caso concreto de este micronutriente, el N aportado con la fertilización de base pudo tener un efecto muy importante en la acción positiva sobre su absorción por la planta, aunque la acción del F también fue incuestionable, según demostraron las extracciones conseguidas en los dos últimos cortes con las dosis más altas de este producto (datos no presentados).

El conjunto de resultados obtenidos en el caso de los micronutrientes, han puesto en evidencia que el F potencia de forma indiscutible su absorción por una planta tan exigente y de crecimiento tan rápido como es el ryegrass. Según se discute más adelante, este efecto positivo fue conseguido gracias a un fuerte aumento de la disponibilidad de los micronutrientes en el suelo, hasta el punto de que en ocasiones, especialmente en el caso del Mn, llegó a producirse un auténtico "consumo de lujo" por parte de la planta.

Este "consumo de lujo" estuvo propiciado por las condiciones innatas de fertilidad del suelo, ya de por sí altas, que permitieron que la planta lograra un abastecimiento de micronutrientes más que suficiente, a partir de la fracción aportada con la fertilización y de la movilizadora de las propias reservas del suelo. Según veremos en un capítulo posterior, el F pudo jugar un papel importante en esta movilización, aspecto importante para situaciones previsiblemente carenciales (incluida una fácil "fijación" de micronutrientes), según se afirmó anteriormente.

IV.3.2. Concentración y extracción de nutrientes en maíz

Una vez examinado el efecto del F sobre el estado nutricional del ryegrass, parecía interesante comprobar también su efecto sobre una planta de carácter todavía más agronómico, como es el maíz, teniendo en cuenta su amplia implantación en los regadíos de Andalucía. No obstante, debido

a las condiciones del ensayo, realizado en pequeñas macetas, consideramos conveniente cultivar la planta sólo durante sus primeros estadíos (plantas de 30 y 45 días).

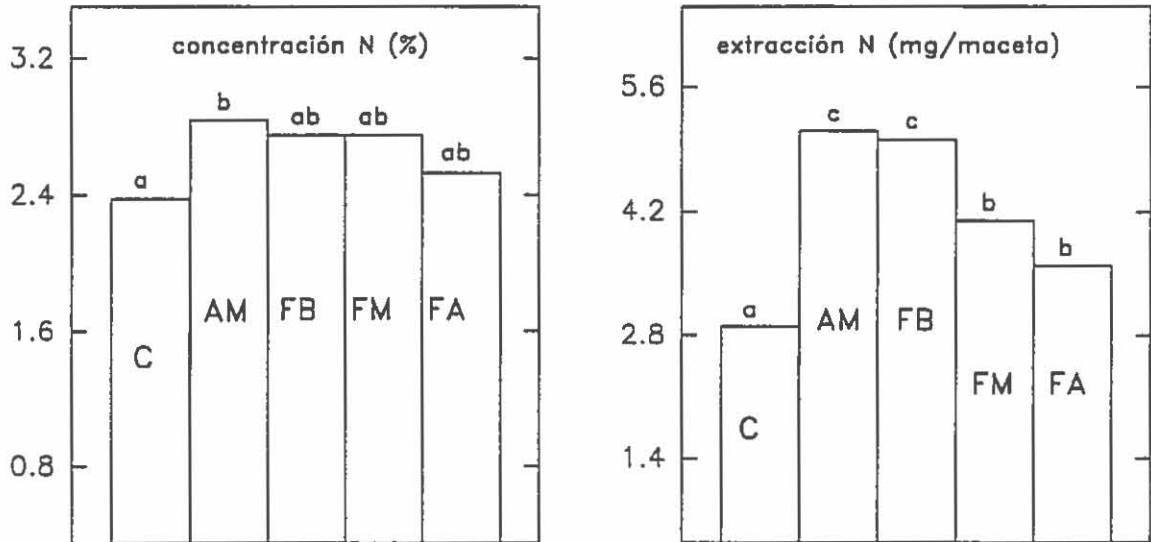
IV.3.2.1. Macronutrientes (Plantas de 30 y 45 días)

En un capítulo anterior, pudo comprobarse que todos los tratamientos fertilizantes aumentaron el peso seco de estas plántulas (Figs IV.2. y IV.3.). Sin embargo, la acción del FERTIORMONT no alcanzó todavía su máxima efectividad en los primeros estadíos de desarrollo del maíz, plántulas de 30 días, especialmente en el caso del N.

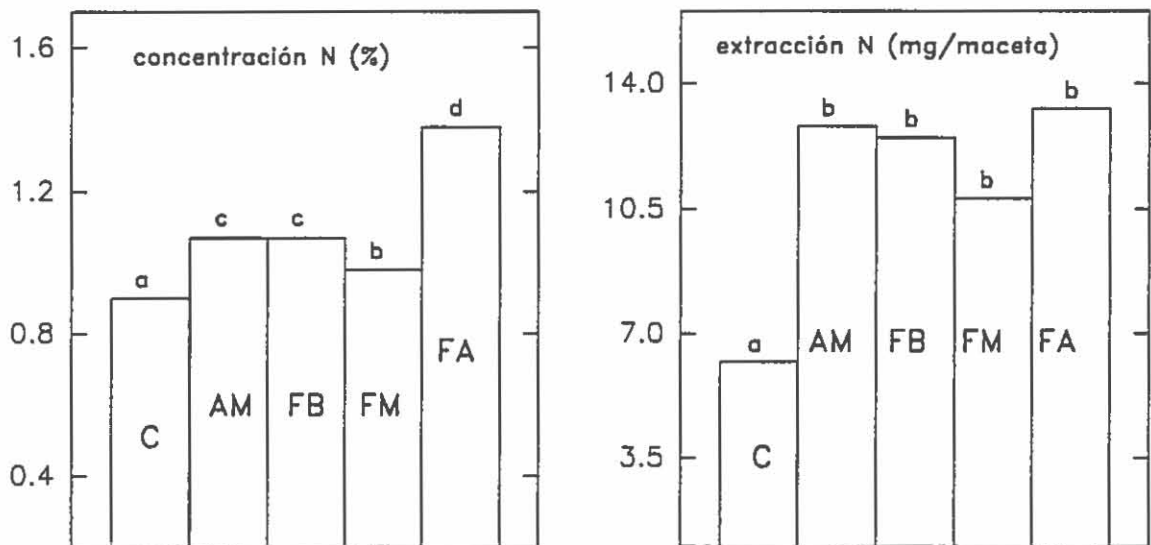
Según se muestra en la Fig. IV.4., todos los tratamientos fertilizantes resultaron sinérgicos, respecto al control, en el caso del N, ya que ocasionaron un aumento de la concentración del mismo, así como de su extracción epígea, todo ello paralelo al aumento de peso seco ya reseñado. Sin embargo, respecto al tratamiento base de abono mineral (tratamiento AM), la presencia de F tuvo un efecto antagónico en el caso de las plántulas de 30 días, al ocasionar disminuciones de los tres parámetros. Este efecto fue más acusado en el caso de las dosis más altas (Tratamientos FM y FA).

Conforme las plantas continuaban su crecimiento (plantas de 45 días), este efecto antagónico del F, respecto al abonado base, se fue "diluyendo", puesto que aunque todavía aparecía esta tendencia en el caso

PLANTAS DE 30 DIAS



PLANTAS DE 45 DIAS



T R A T A M I E N T O S

Fig. IV. 4. Concentración y extracción epigea de N en plantas de maíz de 30 y 45 días en función de los tratamientos control (C), abono mineral (AM), y dosis baja (FB), media (FM) y alta (FA) de Fertiormont (aplicadas junto con AM). Barras con letras iguales no difieren significativamente

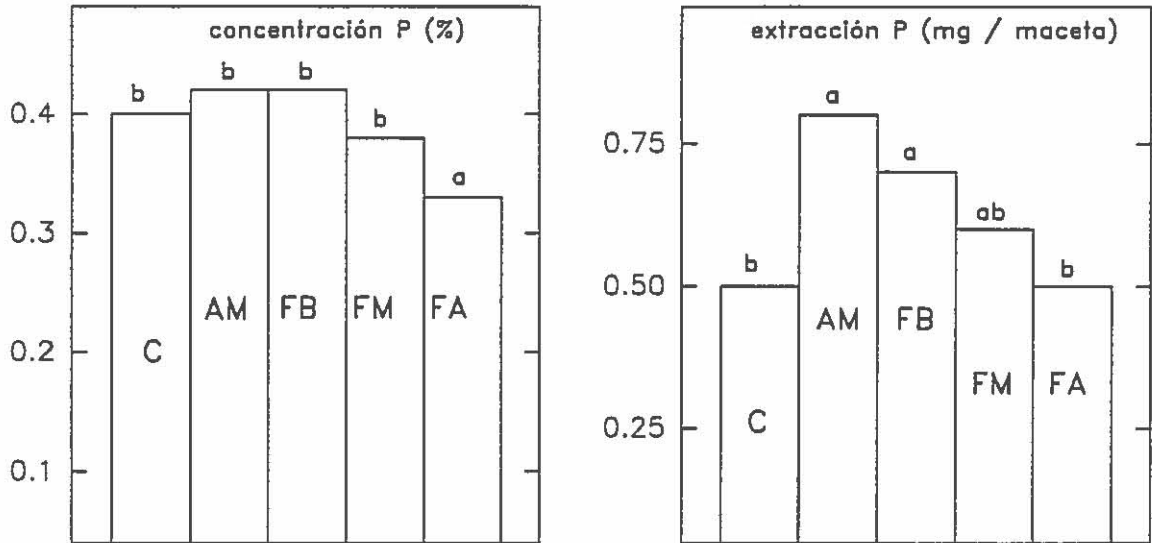
del tratamiento FM, la máxima dosis aplicada, tratamiento FA, ocasionaba ya un efecto sinérgico, al aumentar tanto la concentración como la extracción de N, con una diferencia estadísticamente significativa en el primer caso (Fig.IV.4.).

En el caso del P (Fig.IV.5.), aún se detectó con mayor claridad el hecho de que la aplicación del F no llegó a alcanzar su máxima efectividad inicialmente, puesto que ni aún en el caso de las plantas de 45 días se observó un efecto generalizado de sinergismo respecto al tratamiento control. En las plantas más jóvenes (30 días), este efecto sinérgico sólo se observó en el caso de la dosis más baja (tratamiento FB), detectándose de nuevo un efecto antagónico del F respecto al tratamiento base, AM.

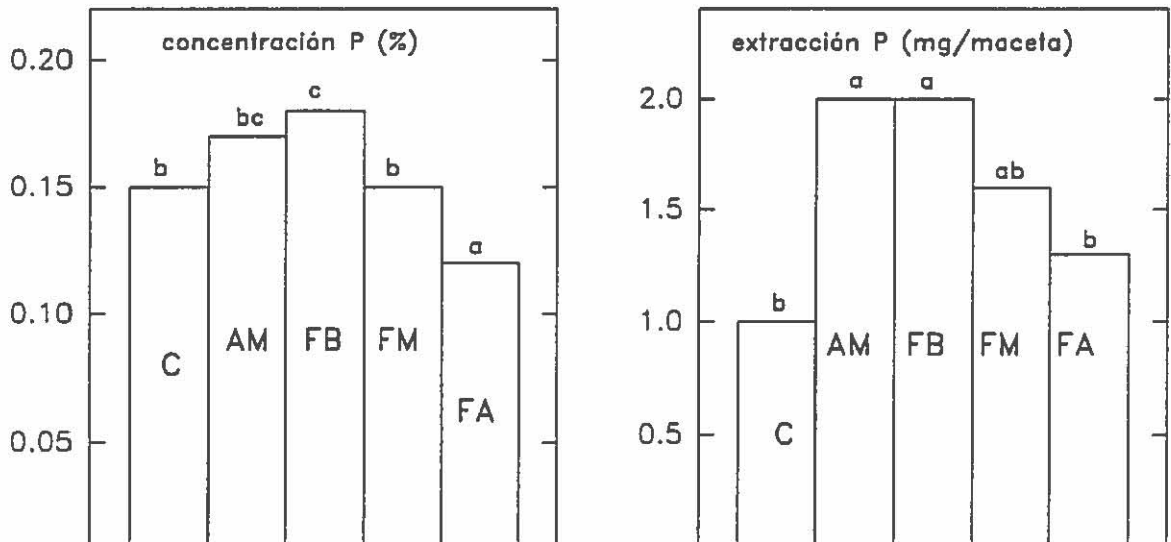
Esta tendencia hacia el antagonismo, respecto al tratamiento AM, persistía todavía en las plantas de 45 días que habían recibido las dosis media y alta de F (tratamientos FM y FA), ya que tanto la concentración como la extracción resultaron inferiores, con diferencias estadísticamente significativas en el caso del tratamiento AM. Por el contrario, la dosis más baja se comportó prácticamente igual que el tratamiento base AM, lo que prueba que en el caso del maíz, y en estas fases iniciales del desarrollo, una fuerte dilución del F no afecta a la dinámica del P.

Es importante constatar este hecho porque se trata de un comportamiento diferente al registrado en el caso del ryegrass, donde parecía que la fertilización, en general, había promovido cierto "consumo de lujo" de P, respecto al tratamiento control. En este caso, maíz, las extracciones de N y K, e incluso las de S con los tratamientos FM y FA,

PLANTAS DE 30 DIAS



PLANTAS DE 45 DIAS



T R A T A M I E N T O S

Fig. IV. 5. Concentración y extracción epigea de P en plantas de maíz de 30 y 45 días en función de los tratamientos control (C), abono mineral (AM), y dosis baja (FB), media (FM) y alta (FA) de Fertiormont (aplicadas junto con AM). Barras con letras iguales no difieren significativamente ($P < 0,05$).

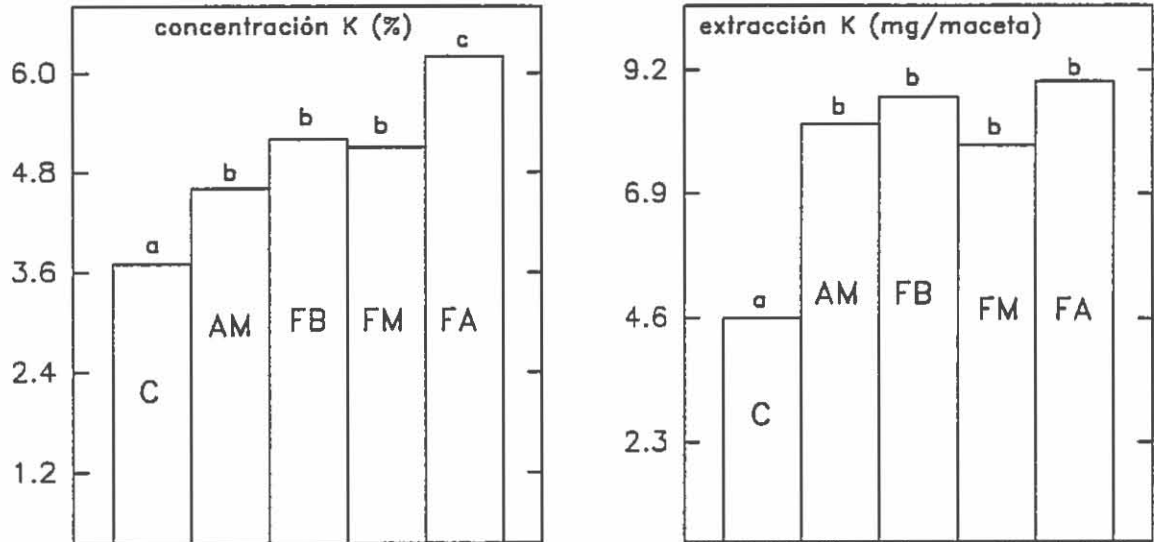
resultaron comparativamente superiores a las de P, contrariamente a lo que ocurrió con ryegrass. No obstante, insistimos, se trata de plantas jóvenes de maíz, por lo que habría resultado interesante estudiar la respuesta de plantas más desarrolladas, en campo, teniendo en cuenta sobre todo que de 30 a 45 días parece observarse cierta potenciación, respecto al control, en la absorción de P (Fig.IV.5.).

En el caso del K (Fig.IV.6.) sí se registró un acusado paralelismo entre las dos especies, en el sentido de que el F volvió a manifestarse, en el caso del maíz, como un agente extraordinariamente eficaz para potenciar la toma de K. Este efecto fue especialmente evidente en plantas de 45 días, en las que tanto la concentración, como la extracción, promovidas por las tres dosis de F resultaron mayores, significativamente, que las del control (C) y las del tratamiento AM.

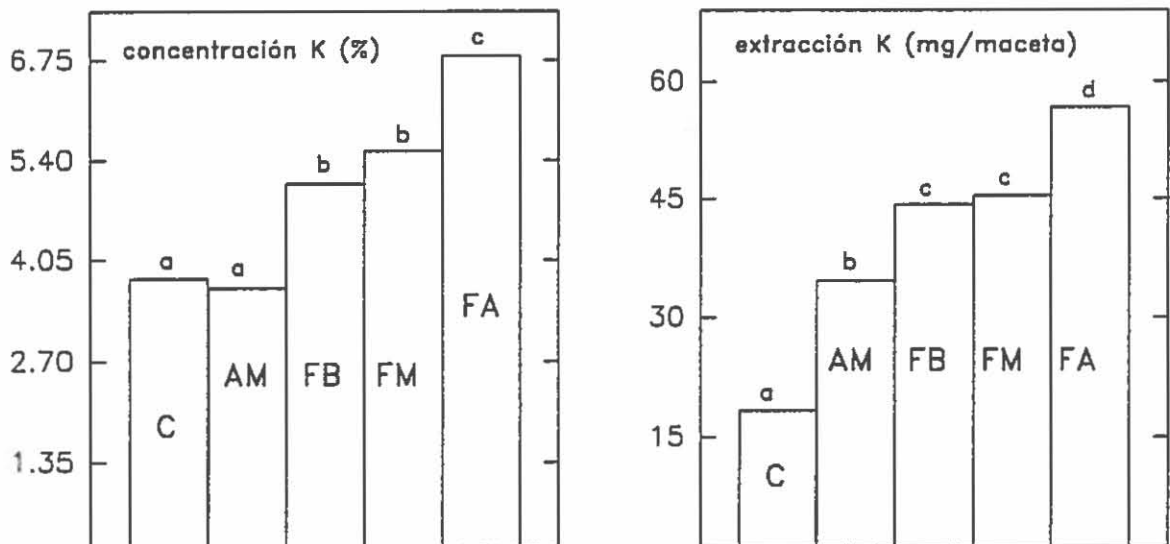
En general, en el caso del K se observó un claro fenómeno de sinergismo, respecto al tratamiento control promovido por la fertilización tanto en plantas de 30 días como en plantas de 45 días, aunque, este efecto fue mucho más patente ante la presencia de F, debido posiblemente a la notable aportación de K que supone su adición (Tabla 4.6).

Por el contrario, la presencia de F nunca aumentó, respecto al control, la concentración y extracción de Na, en las plántulas de 30 días (Fig.IV.7). Sólo en plantas de 45 días, la dosis más baja de F aumentó significativamente la extracción de Na respecto al control, aunque la concentración resultó significativamente más baja, como consecuencia de un proceso de "dilución" del nutriente, ocasionado por el crecimiento de

PLANTAS DE 30 DIAS



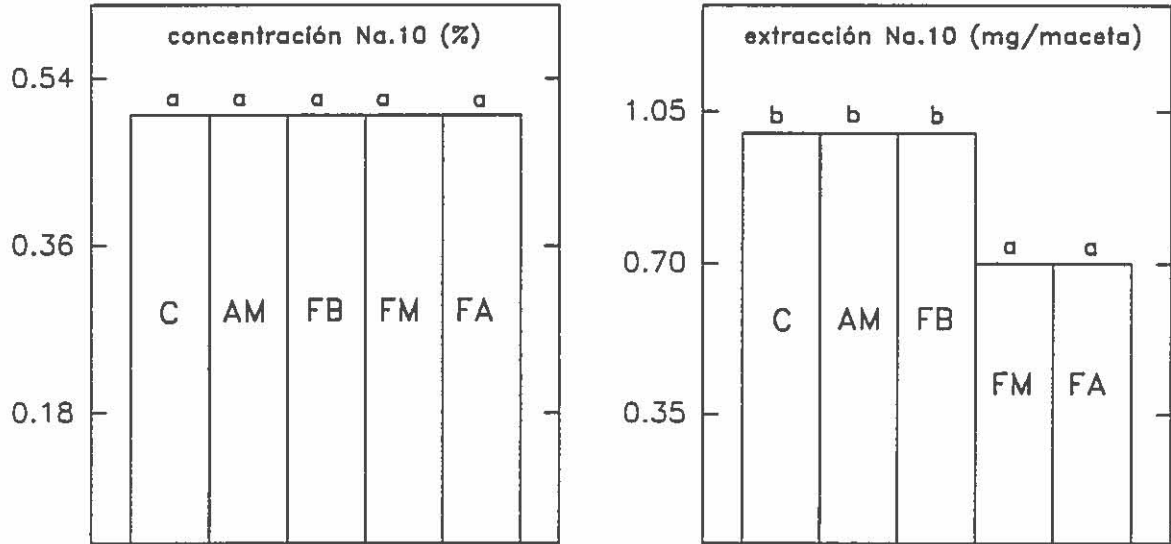
PLANTAS DE 45 DIAS



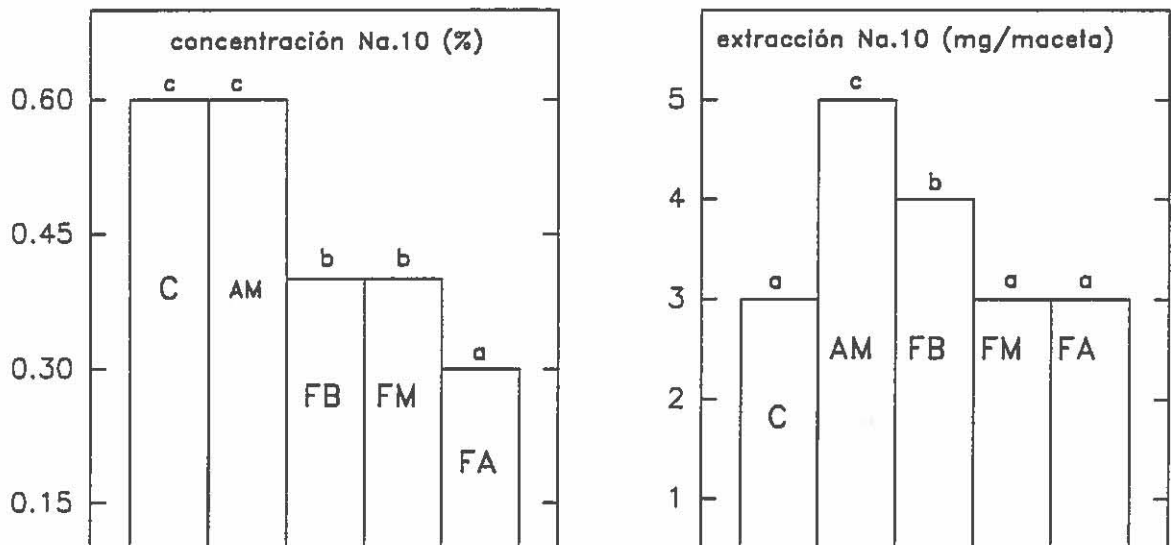
T R A T A M I E N T O S

Fig. IV. 6. Concentración y extracción epéica de K en plantas de maíz de 30 y 45 días en función de los tratamientos control (C), abono mineral (AM), y dosis baja (FB), media (FM) y alta (FA) de Fertormont (aplicadas junto con AM). Barras con letras iguales no difieren significativamente

PLANTAS DE 30 DIAS



PLANTAS DE 45 DIAS



T R A T A M I E N T O S

Fig. IV. 7. Concentración y extracción epigea de Na en plantas de maíz de 30 y 45 días en función de los tratamientos control (C), abono mineral (AM), y dosis baja (FB), media (FM) y alta (FA) de Fertormont (aplicadas junto con AM). Barras con letras iguales no difieren significativamente ($P < 0,05$).

las plantas registrado en este tratamiento.

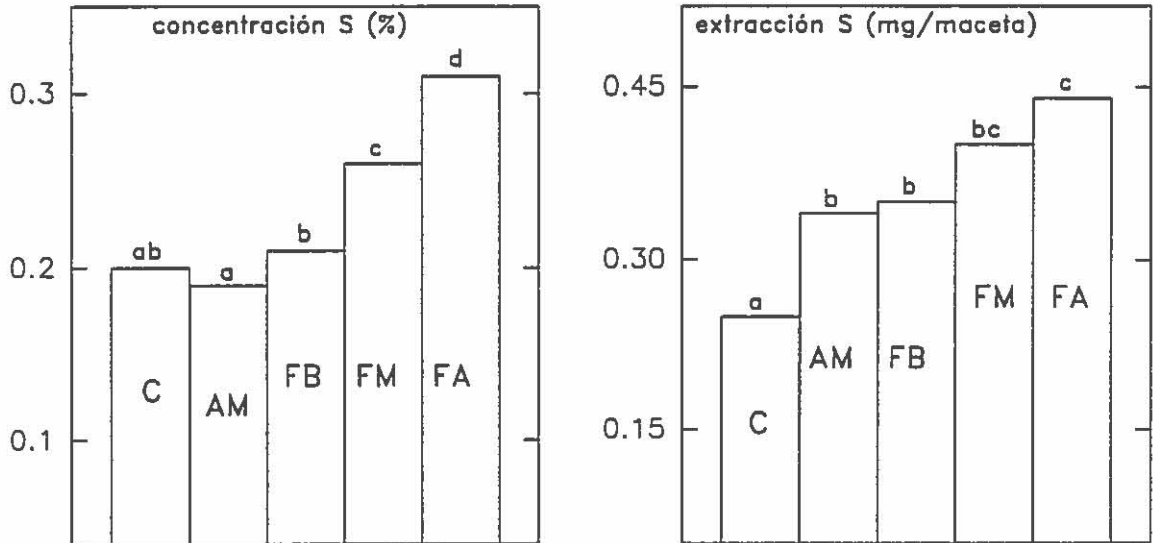
Por consiguiente, el peligro de "sodificación" que entraña la aplicación de F es absolutamente nulo, según se puso de manifiesto en el caso del ryegrass, donde se indicó la posibilidad de que existiera cierto efecto competitivo K-Na, ante la notable concentración K del F. Esta circunstancia parece confirmarla el hecho de que son precisamente las dosis mayores de F (FM y FA) las que ocasionaron, en general, las menores extracciones (plantas de 45 días) y concentraciones de Na (tratamiento FA, plantas de 45 días).

En el caso del S (Fig.IV.8.), también se observó un efecto positivo de la fertilización, en especial de las dosis altas de F, sobre su absorción por la planta. Este efecto positivo de las dosis altas de F resultó especialmente claro en las plántulas de 30 días, ya que los tratamientos FM y FA ocasionaron concentraciones de S significativamente más altas que las de los tratamientos C y AM. El tratamiento FA también ocasionó una extracción mayor, significativamente, que la de los tratamientos C y AM, mientras que el tratamiento FM sólo lo hizo respecto a C.

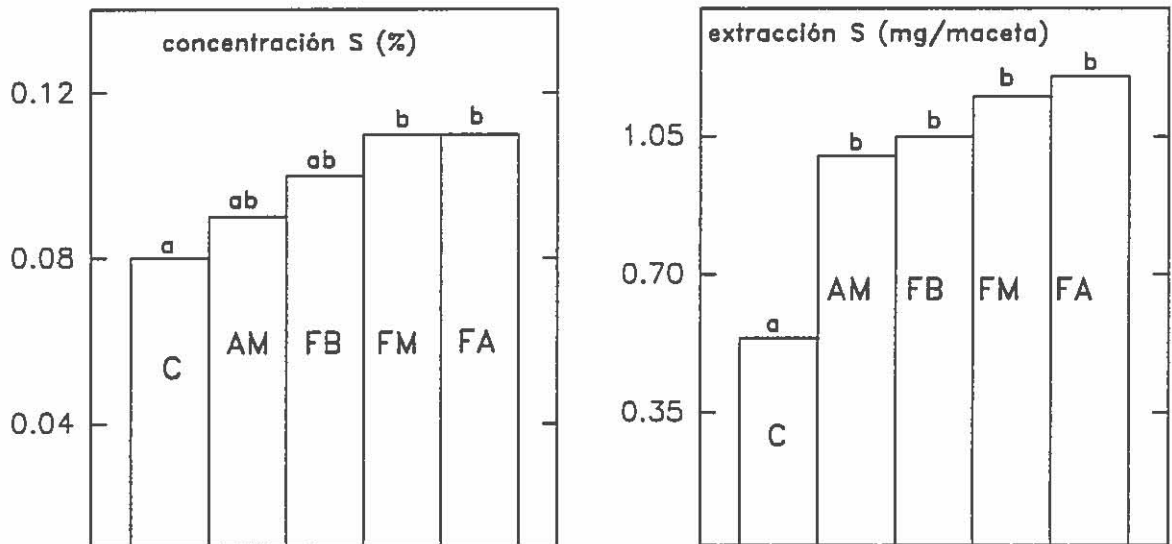
En las plantas de 45 días, ya no fue tan acusado el efecto positivo de las dosis altas de F, debido a que se fue acentuando poco a poco el efecto positivo de los tratamientos AM y FB, hasta el punto de que llegaron a desaparecer las diferencias significativas que habían ocasionado los tratamientos fertilizantes en fases anteriores del desarrollo.

Por el contrario, la presencia de F, especialmente en sus dosis más altas (tratamientos FM y FA), no ejerció ningún efecto positivo sobre la

PLANTAS DE 30 DIAS



PLANTAS DE 45 DIAS



T R A T A M I E N T O S

Fig. IV. 8. Concentración y extracción epigea de S en plantas de maíz de 30 y 45 días en función de los tratamientos control (C), abono mineral (AM), y dosis baja (FB), media (FM) y alta (FA) de Fertiomont (aplicadas junto con AM). Barras con letras iguales no difieren significativamente ($P < 0,05$).

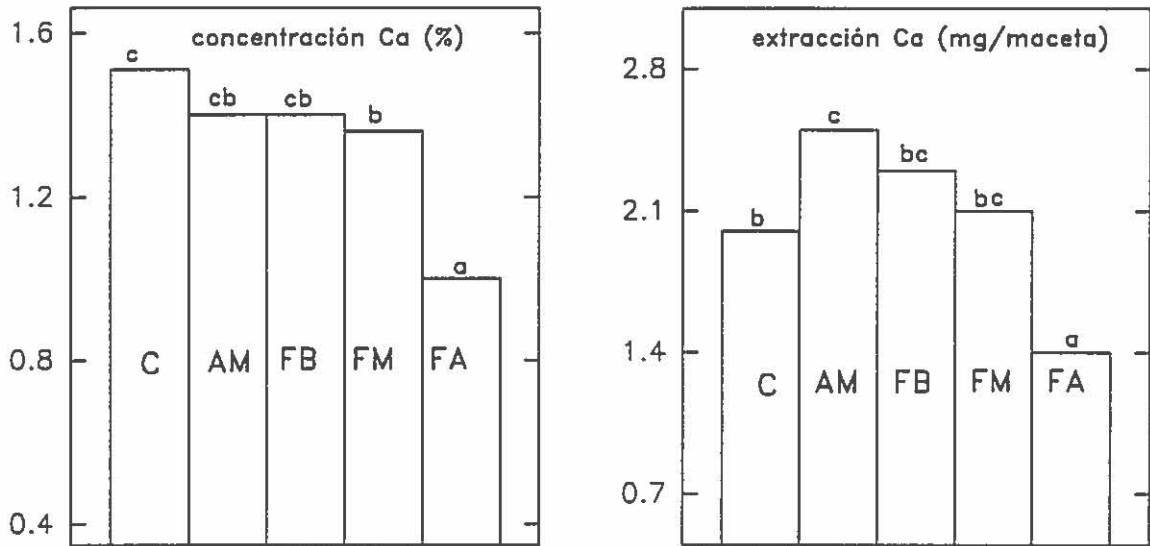
absorción de los nutrientes Ca y Mg (Figs IV.9. y IV.10.). En las plántulas de 30 días, se observó un claro proceso de "dilución" del nutriente, respecto al control, debido a una falta de sincronización entre la fabricación de biomasa, proceso más rápido, y la toma de Ca, comparativamente más lento.

Sin embargo, la dosis más alta de F, (FA), ejerció cierto efecto antagónico respecto a la fertilización base, AM, en el sentido de que tanto la biomasa, como la concentración y extracción de Ca ocasionadas fueron significativamente más bajas que en el tratamiento AM. En el caso del tratamiento FM también se observó esta tendencia, aunque las diferencias no llegaron a ser significativas.

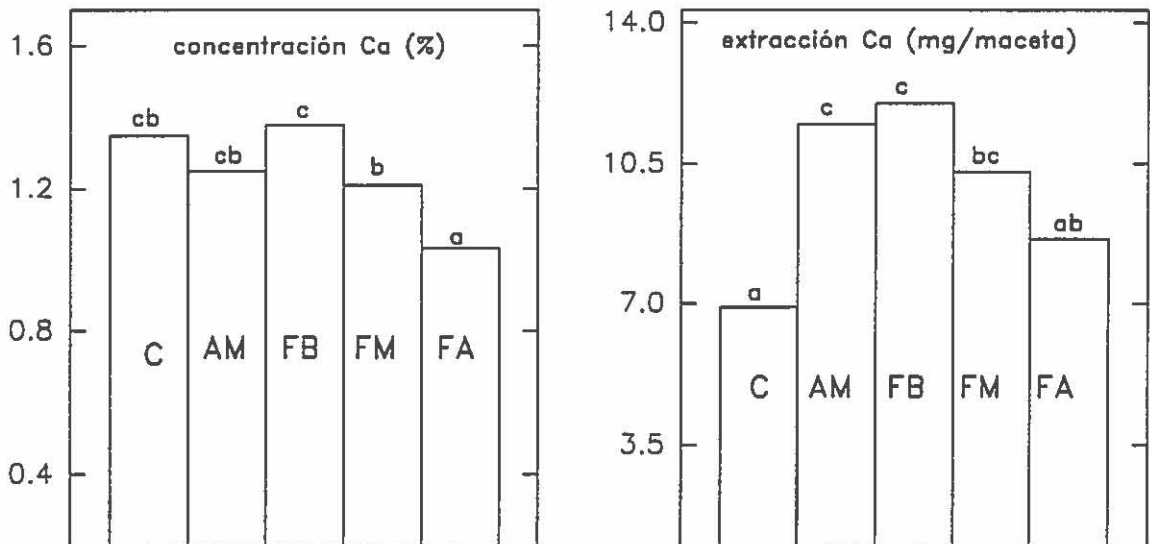
Algo similar ocurrió en el caso del Mg (Fig.IV.10.), sólo que en esta ocasión fue todavía más evidente el efecto antagónico de las dosis altas de F, respecto a la fertilización base AM, apreciable incluso en el caso de la dosis más baja aplicada (FB). Como puede apreciarse en la Fig.IV.10, todas las dosis de F ocasionaron concentraciones de Mg significativamente más bajas que la del tratamiento AM, resultando también menores las extracciones, aunque en este caso las diferencias sólo fueron significativas para los tratamientos FM y FA.

El efecto del F sobre la toma de Ca resultó menos patente en las plantas de 45 días que en las de 30 días, aunque todavía pudo detectarse cierta tendencia hacia el sinergismo en el caso de la dosis más baja (FB) y cierta tendencia al antagonismo en el caso de las dosis más altas (FM y FA, Fig.IV.9.), siempre respecto a la fertilización de base AM.

PLANTAS DE 30 DIAS



PLANTAS DE 45 DIAS



T R A T A M I E N T O S

Fig. IV. 9. Concentración y extracción epigea de Ca en plantas de maíz de 30 y 45 días en función de los tratamientos control (C), abono mineral (AM), y dosis baja (FB), media (FM) y alta (FA) de Fertiormont (aplicadas junto con AM). Barras con letras iguales no difieren significativamente

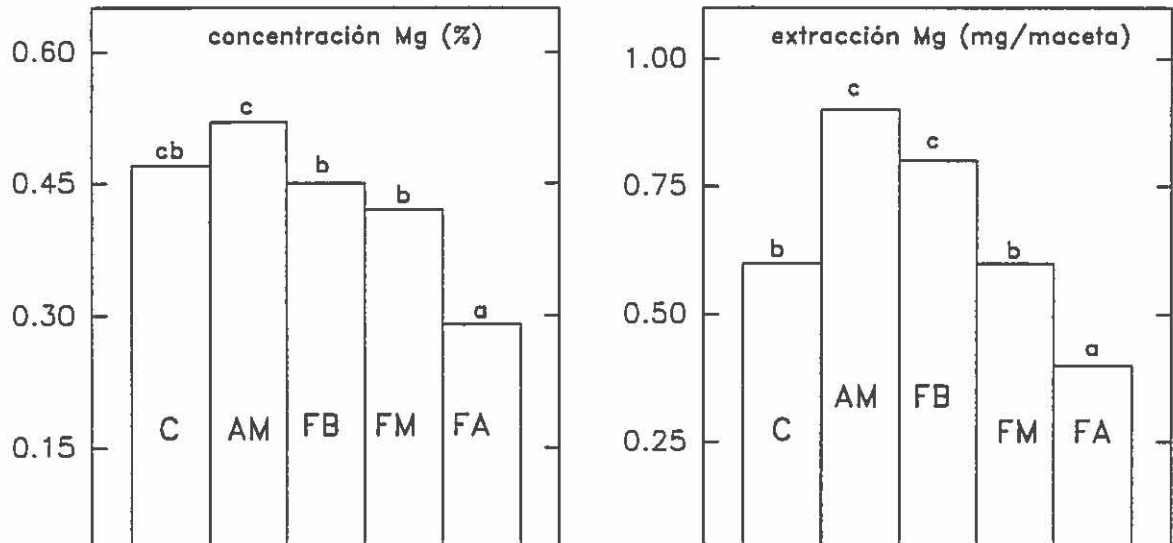
Efectivamente, en el primer caso (FB), para una producción de biomasa prácticamente similar (Fig.IV.9.), tanto la concentración como la extracción de Ca tendían a ser mayores, mientras que cuando se trataba de las dosis media y alta, siendo algo menores las producciones de materia seca obtenidas, respecto al tratamiento AM, concentración y extracción tendían a ser menores.

Por el contrario, en el caso del Mg continuó siendo perfectamente claro, en plantas de 45 días, el efecto negativo del F sobre su absorción, respecto a la fertilización base AM (Fig.IV.10.). Para biomásas ligeramenta más bajas (Fig.IV.2.), tanto las concentraciones como las extracciones resultaron significativamente más bajas que las de AM, especialmente en el caso de las dosis más altas de F.

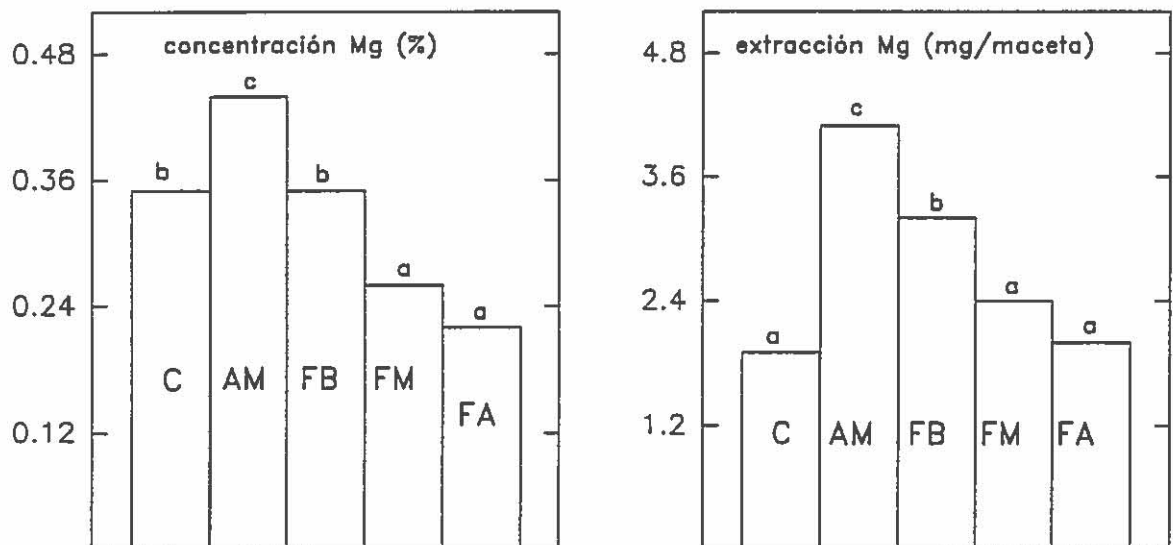
En nuestra opinión, parece evidente que la presencia del F, especialmente en sus dosis más altas (tratamientos FM y FA), dió paso a diferentes equilibrios nutricionales que, hasta el momento estudiado, plantas de 45 días, no perjudicaron su desarrollo vegetativo, dado que los pesos secos de los tratamientos fertilizantes fueron del mismo orden y siempre superiores a los del control.

Por conguiente, cabe pensar que si la aplicación de F disminuyó en cierta medida la fitoasimilabilidad del Ca y, especialmente, la del Mg, pudo ser en beneficio de la fitoasimilabilidad de otros nutrientes básicos, sin que, en su conjunto, y por el momento, se viese afectado negativamente el desarrollo de la planta. Sin embargo, no sabemos que podría haber ocurrido en fases posteriores del desarrollo, por lo que resultaba

PLANTAS DE 30 DIAS



PLANTAS DE 45 DIAS



T R A T A M I E N T O S

Fig. IV.10. Concentración y extracción epigea de Mg en plantas de maíz de 30 y 45 días en función de los tratamientos control (C), abono mineral (AM), y dosis baja (FB), media (FM) y alta (FA) de Fertiormont (aplicadas junto con AM). Barras con letras iguales no difieren significativamente ($P < 0,05$).

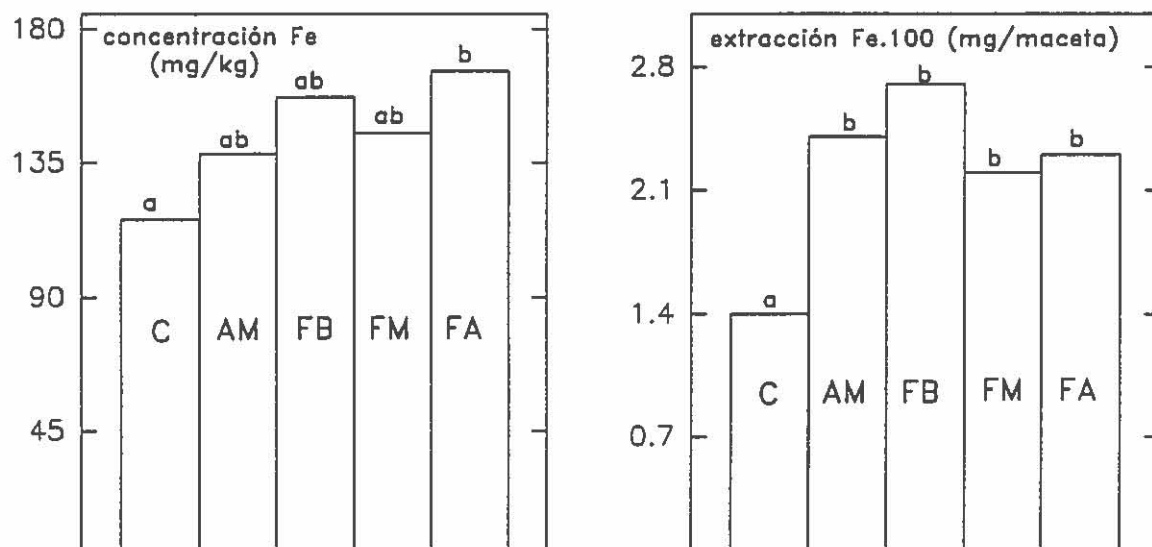
interesante conocer, en el caso concreto de esta planta, qué equilibrio estaba resultando más beneficioso, aspecto abordado en un apartado posterior.

IV.3.2.2. Micronutrientes (plantas de 30 y 45 días).

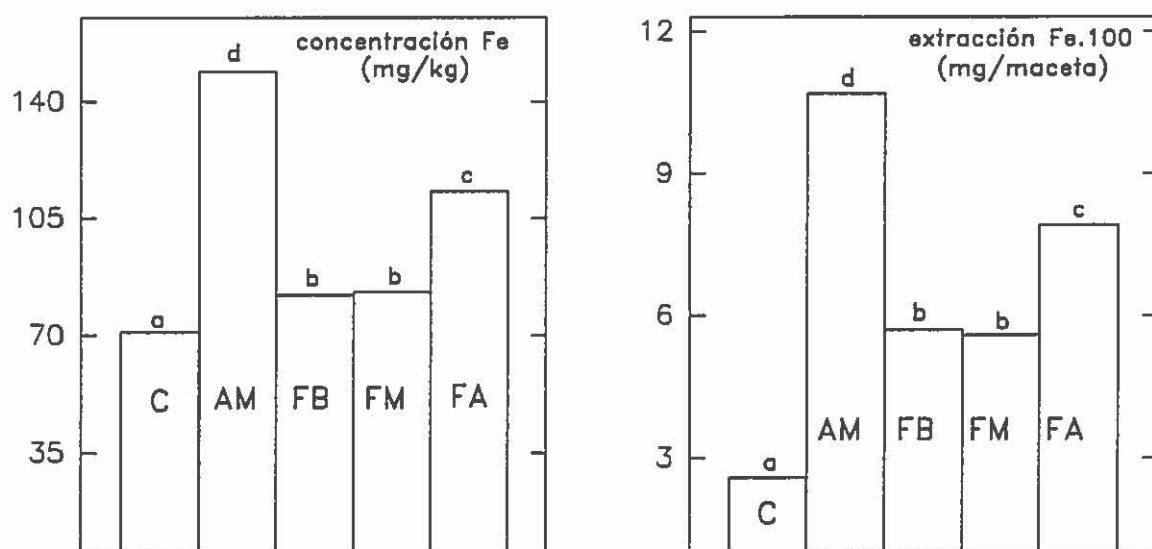
Resultaba interesante examinar la influencia del F sobre la absorción de micronutrientes de una especie tan representativa de los regadíos de nuestra región como es el maíz. Ya se indicó que el F es un producto que puede potenciar la fitoasimilabilidad de micronutrientes (aspecto que se discute en un apartado posterior), lo cual podría soslayar una posible interacción negativa de la elevada fertilización de base, N-P-K, aspecto comentado con anterioridad. No obstante, conviene recordar que el suelo ensayado poseía una notable fertilidad natural, aspecto que, en principio, podía resultar sinérgico a este nivel de fertilidad.

Sin embargo, en el caso del Fe (Fig.IV.11.), la influencia del F fue mucho menos acusada que la del abono mineral base (AM), especialmente en el caso de las plantas de 45 días. Todos los tratamientos tuvieron un claro efecto sinérgico respecto al tratamiento control, tanto en plantas de 30 días como en las de 45 días, aumentando significativamente la extracción de Fe (30 y 45 días), así como su concentración (tratamiento FA, 30 días y siempre a los 45 días).

PLANTAS DE 30 DIAS



PLANTAS DE 45 DIAS



T R A T A M I E N T O S

Fig. IV.11. Concentración y extracción epéica de Fe en plantas de maíz de 30 y 45 días en función de los tratamientos control (C), abono mineral (AM), y dosis baja (FB), media (FM) y alta (FA) de Fertiormont (aplicadas junto con AM). Barras con letras iguales no difieren significativamente

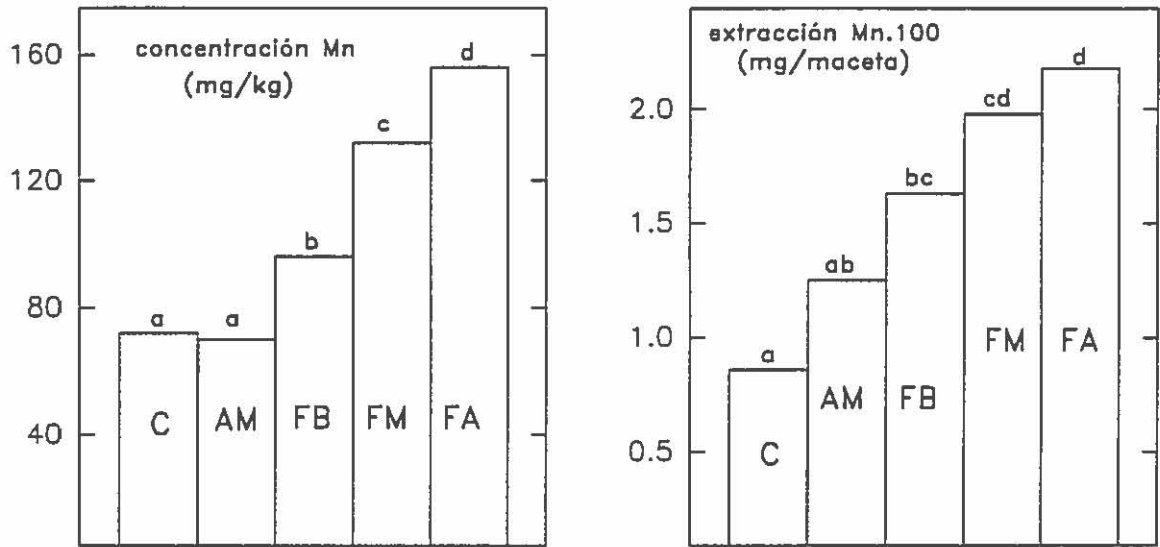
Pero entre los tratamientos fertilizantes, no se produjeron diferencias reseñables en las plantas de 30 días, y sí un claro efecto antagónico del F respecto al tratamiento AM, dado que para pesos secos básicamente iguales, los tratamientos FB, FM y FA ocasionaron concentraciones y extracciones significativamente más bajas (Fig.IV.11.).

De todas formas, conviene tener presente que las necesidades de Fe de plántulas de maíz parecen quedar cubiertas dentro del amplio intervalo de concentraciones de 50-250 mg Kg⁻¹ (Jones et al., 1991), que aunque referido a condiciones de campo, nos hace pensar que las plántulas de nuestro ensayo siempre cubrieron sus necesidades de Fe, dado que la concentración más baja registrada fue de 70 mg Kg⁻¹ (plantas del control con 45 días).

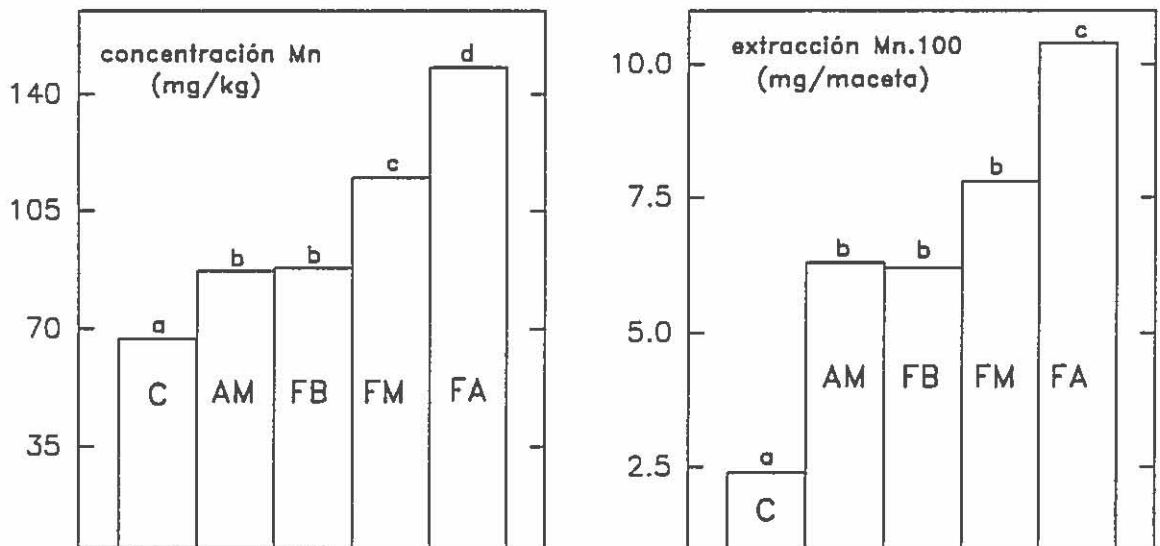
En el caso de la absorción de Mn por el maíz (Fig.IV.12.) sí se observó un claro efecto potenciador del F, como ya ocurriera con el ryegrass. Aunque en las plántulas de 30 días pudiera pensarse que hubo cierto efecto de "concentración" del nutriente respecto a la fertilización de base, al reducirse ligeramente la biomasa y aumentar su concentración y extracción, tras la aplicación de F, estos aumentos fueron tan llamativos, especialmente en el caso de las dosis más altas de F, que parece indudable la influencia directa del F sobre la toma del nutriente, al margen de que pudiera haberse producido cierto nivel de "concentración" del mismo.

Además, en el caso de las plantas de 45 días, ya se observó un claro efecto sinérgico de las dosis más altas de F (FM y FA) respecto a los restantes tratamientos, incluida la fertilización base. El hecho de que la

PLANTAS DE 30 DIAS



PLANTAS DE 45 DIAS



T R A T A M I E N T O S

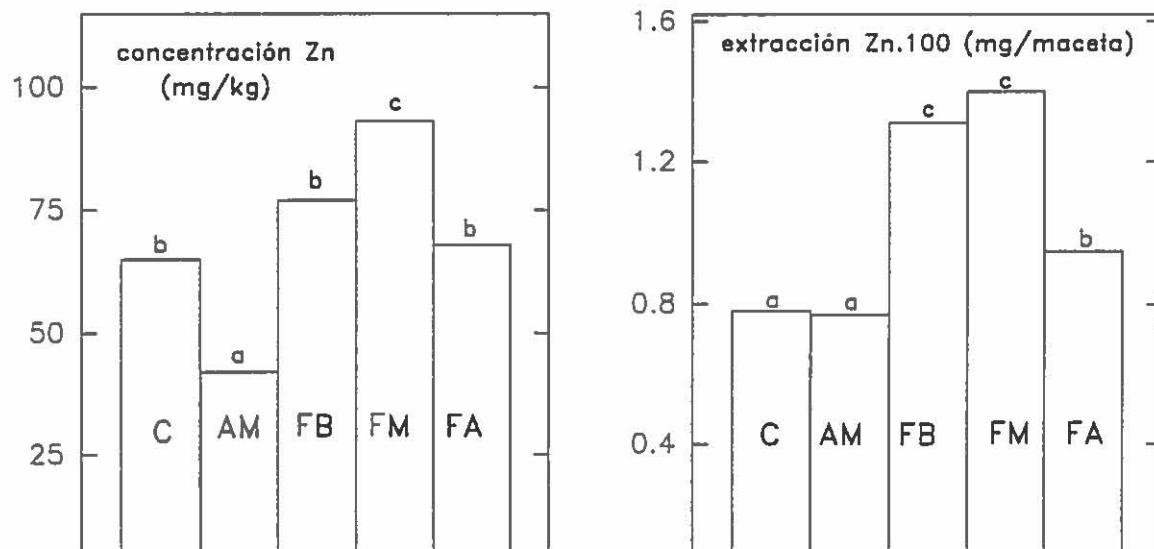
Fig. IV.12. Concentración y extracción epigea de Mn en plantas de maíz de 30 y 45 días en función de los tratamientos control (C), abono mineral (AM), y dosis baja (FB), media (FM) y alta (FA) de Fertiormont (aplicadas junto con AM). Barras con letras iguales no difieren significativamente

concentración y extracción de Mn resultaran mayores conforme aumentaba la dosis de F, tanto en plantas de 30 como de 45 días, refleja fielmente su acción "directa" sobre la fitoasimilabilidad de este micronutriente. Otra circunstancia que refleja la influencia positiva del F radica en la propia magnitud de las concentraciones ocasionadas por sus dosis más altas. Para plántulas de maíz, el intervalo de suficiencia propuesto para Mn es de 20-300 mg Kg⁻¹ (Jones et al., 1991), habiéndose registrado en campo, con plántulas de esta misma variedad y durante un periodo de 5 años, concentraciones que oscilaron entre los 60 y 90 mg Kg⁻¹. Según refleja la Fig.IV.12, la dosis más alta de F llegó a ocasionar concentraciones próximas a los 160 mg Kg⁻¹ (plántulas de 30 días) y 140 mg Kg⁻¹ (plántulas de 45 días).

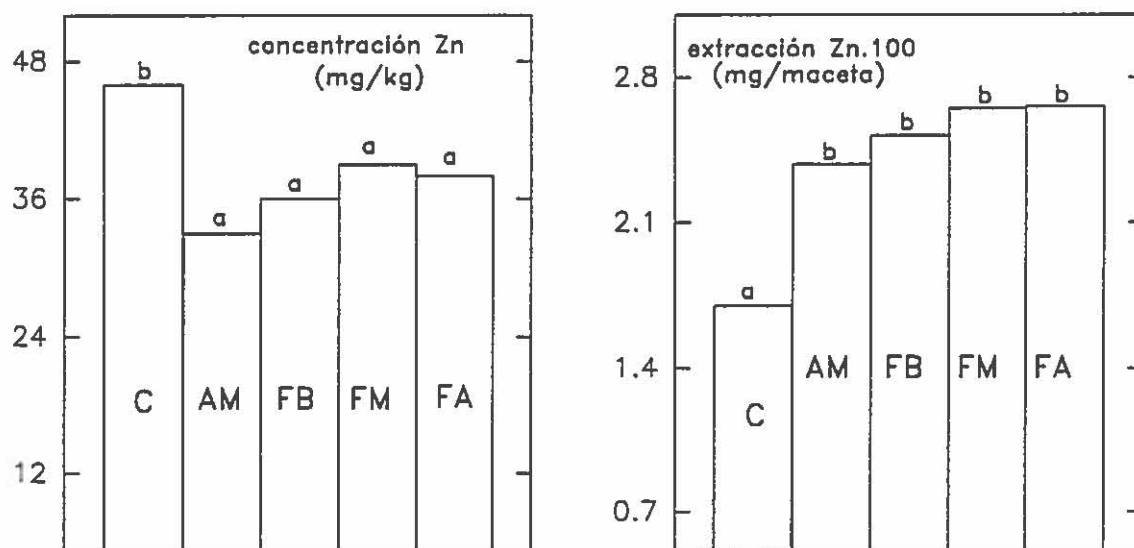
Como ya se indicara para ryegrass este aumento tan espectacular de Mn, ocasionado por la presencia del F, contrasta con el posible efecto depresivo de la materia orgánica sobre su fitoasimilabilidad (Wallace y Wallace, 1983; Gallardo-Lara et al., 1986; Gallardo-Lara y Nogales, 1987). Aunque en el caso del maíz no se han alcanzado los algo más de 500 mg Kg⁻¹ que ocasionaron los tratamientos de FM y FA en el 2º corte de ryegrass, es evidente que los resultados obtenidos no hacen más que corroborar el efecto tan acusado que tiene el F sobre la disponibilidad de Mn para la planta, tema que, por su interés, convendría seguir estudiando en el futuro, según se indicó con anterioridad.

En el caso del Zn (Fig.IV.13.) y Cu (Fig.IV.14.), los resultados obtenidos con el maíz también fueron mucho menos espectaculares que con el ryegrass hasta el extremo de que en el caso del Cu se llegaron a detectar

PLANTAS DE 30 DIAS



PLANTAS DE 45 DIAS



T R A T A M I E N T O S

Fig. IV.13. Concentración y extracción epigea de Zn en plantas de maíz de 30 y 45 días en función de los tratamientos control (C), abono mineral (AM), y dosis baja (FB), media (FM) y alta (FA) de Fertormont (aplicadas junto con AM). Barras con letras iguales no difieren significativamente

situaciones de "antagonismo" respecto a la fertilización de base AM. En el caso del Zn todavía se observó cierto efecto favorable como consecuencia de la aplicación del F, según muestra la Fig.IV.13.

En las plántulas de 30 días, la presencia de F ocasionó un claro efecto sinérgico en la toma de Zn, respecto al control, debido a una razonable sincronización de la absorción del nutriente con el ritmo de producción de biomasa. La fertilización de base ocasionó cierto nivel de "dilución", debido tal vez a su más rápido crecimiento inicial, al tiempo que los tratamientos con F tendían a "concentrar" el nutriente, respecto a la fertilización de base, debido igualmente a estas diferencias de crecimiento.

Pero en general, las concentraciones de Zn alcanzadas durante esta fase (plántulas de 30 días), resultaron satisfactorias, puesto que las necesidades del maíz parecen quedar cubiertas en un intervalo de 20-60 mg kg⁻¹ (Jones et al., 1991), dentro del que se situaron las concentraciones de todos los tratamientos (Fig.IV.13.), resultando especialmente altas las conseguidas con los tratamientos a base de F. Como referencia, sólo orientativa, puede indicarse que en campo, esta misma variedad, cultivada durante cinco años en un suelo razonablemente similar, alcanzó durante esta fase concentraciones de Zn comprendidas en un intervalo de 25-50 mg Kg⁻¹.

En una fase posterior del desarrollo, plántulas de 45 días, fue más evidente la tendencia hacia la "dilución" del nutriente, como consecuencia del ritmo de crecimiento impuesto por todos los tratamientos fertilizantes.

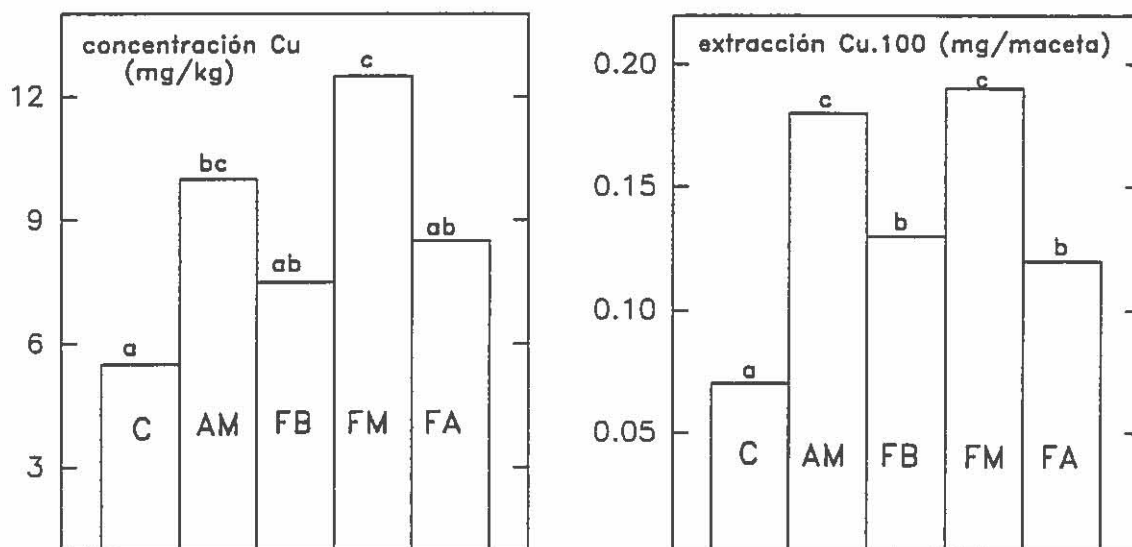
Esto parece indicar que, respecto a otros micronutrientes, la absorción y/o transporte del Zn puede resultarle más difícil a esta planta, especialmente en suelos calcáreos, como el ensayado en este experimento.

La bibliografía especializada cita casos frecuentes de carencias de Zn en suelos calcáreos (Olson y Sander, 1988). Aún así, las concentraciones de Zn registradas en esta fase (45 días), todavía se mantuvieron dentro del intervalo de 20-60 mg Kg⁻¹.

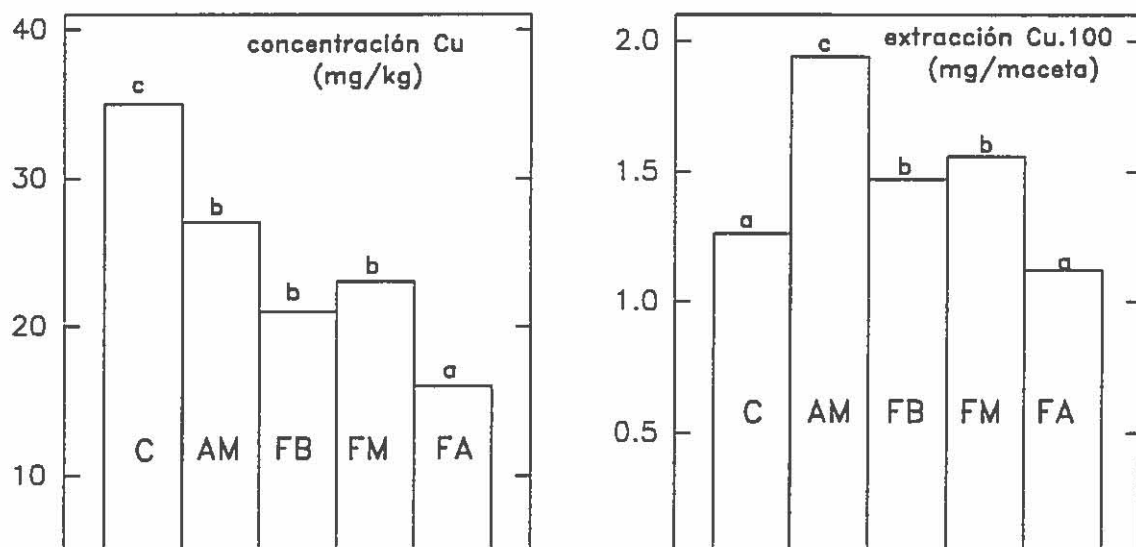
En el caso del Cu (Fig.IV.14.), también se observó un efecto sinérgico de los tratamientos fertilizantes, respecto al control, en las plantas de 30 días. Sin embargo, la influencia del F, respecto a la fertilización de base, AM, sólo fue muy discreta, ya que los tratamientos FB y FA ejercieron cierto efecto antagónico, y el tratamiento FM ocasionó cierta tendencia hacia la "concentración". De cualquier forma, las concentraciones de todos los tratamientos fertilizantes se situaron en el intervalo de suficiencia de 5-25 mg Kg⁻¹ propuesto para esta fase (Jones et al., 1991), aunque por debajo de los 16-18 mg Kg⁻¹ que pueden alcanzar en campo las plántulas de esta variedad (Prisma), bajo condiciones de crecimiento (Ruiz, 1993).

Días después, plantas de 45 días, las concentraciones de Cu resultaron netamente superiores (la competitividad radicular fue menor, al haberse dejado una sólo planta por maceta). Aún así, todos los tratamientos fertilizantes ocasionaron una "dilución" del nutriente más o menos acusada respecto al control (Fig.IV.14.), debido a que, como en el caso del Zn, la absorción y/o transporte de Cu pudo ser comparativamente baja en el caso

PLANTAS DE 30 DIAS



PLANTAS DE 45 DIAS



T R A T A M I E N T O S

Fig. IV.14. Concentración y extracción epigea de Cu en plantas de maíz de 30 y 45 días en función de los tratamientos control (C), abono mineral (AM), y dosis baja (FB), media (FM) y alta (FA) de Fertiormont (aplicadas junto con AM). Barras con letras iguales no difieren significativamente

del maíz.

Por otra parte, cabe resaltar el hecho de que, respecto a la fertilización de base, los tratamientos con F desarrollaron cierto antagonismo, especialmente claro en el caso de la dosis máxima aplicada (tratamiento FA). Este hecho vuelve a corroborar la idea, anteriormente expuesta, de que la influencia del F sobre la toma de Cu fue sólo discreta en el caso del maíz, muy inferior a la registrada en el caso del ryegrass.

El conjunto de resultados obtenidos para maíz, aunque no tan definitivos como los obtenidos para el ryegrass, viene a demostrar que también en el caso de esta especie se ve potenciada la absorción de determinados micronutrientes, especialmente de Mn, por la presencia de F. La acusada influencia que tiene este producto sobre la absorción de Mn por dos especies diferentes, como maíz y ryegrass, hace aconsejable continuar el estudio de este aspecto concreto, con un número mayor de especies y suelos, para comprobar si se trata de un aspecto generalizado.

En caso afirmativo, podría recomendarse este producto, de forma específica para situaciones potencialmente carenciales.

IV.3.2.3. Estudio del equilibrio nutricional según la metodología DRIS (Diagnosis and Recommendation Integrated System)

Con el fin de obtener una información más exhaustiva de la influencia del F sobre el estado nutritivo de las plántulas de maíz, se decidió utilizar el sistema DRIS, que tiene la ventaja de contemplar conjuntamente el equilibrio existente entre los principales nutrientes de la planta, indicando de esta forma qué tratamiento resulta más favorable para la planta (Walworth y Sumner, 1987).

En este apartado se ha decidido estudiar por separado macro y micronutrientes, debido a que las normas DRIS para macronutrientes se basan en un número mayor de observaciones, por lo que, comparativamente, resultan más fiables las conclusiones que puedan obtenerse de su estudio que aquellas obtenidas para micronutrientes.

plántulas de 30 días

La Tabla 4.14, muestra los valores de los índices obtenidos para los distintos macronutrientes, en función de los tratamientos seguidos. En esta metodología, mientras más negativo sea el valor de un índice, más carencial resultaría para la planta el nutriente correspondiente, y viceversa. Kelling y Schulte (1986) centran con mayor precisión este criterio, y consideran que los nutrientes cuyos índices se sitúen dentro de un intervalo de ± 10 ó ± 15 se puede considerar que están bien equilibrados, siendo

normales las concentraciones alcanzadas, mientras que índices entre -25 y -15 indicarían una posible deficiencia. Índices inferiores a -25 reflejarían ya una deficiencia más que probable, mientras que valores superiores a +25 indicarían un posible exceso en la toma del nutriente.

Según este criterio, las plántulas de 30 días presentaron una deficiencia generalizada de N, algo menor cuando el abono mineral se aplicó sólo (tratamiento AM, Tabla 4.14). Por otra parte, la dosis más alta de F ocasionó cierta carencia de P, mientras que promovió un exceso en la toma de K y equilibró sensiblemente la absorción de Ca, Mg y S. En la Tabla 4.14, puede comprobarse que el sumatorio de índices más bajo, sin tener en cuenta sus signos, correspondió precisamente al tratamiento FA, lo que indicaría que el equilibrio nutricional de estas plantas sería algo mejor que el obtenido en los restantes tratamientos. Según este criterio, sumatorio de índices, el equilibrio nutricional de las plantas empeoraría conforme se disminuye la dosis de F.

Considerando los equilibrios nutricionales conjuntamente, el efecto más acusado del F sobre las plántulas de maíz radica en la potenciación de la toma de K, según ponen de manifiesto los distintos órdenes de necesidades según DRIS (Tabla 4.14). Las posiciones relativas de los restantes nutrientes, incluidas las de los micronutrientes (Tabla 4.15) no experimentaron cambios importantes en esta fase inicial del desarrollo de la planta. Quizás la tendencia más acusada se registró en el caso del Mn, cuyo índice resultó un tanto elevado bajo la dosis más alta de F.

Tabla 4.14. Normas DRIS en plántulas de maíz de 30 días. Estudio de macronutrientes. Sumatorio de Índices y Orden de necesidades

TRATAM	N	P	K	Ca	Mg	S	Σ. de Índices	Orden de Necesidades
C	-38,6	-7,4	17,5	42,1	21,1	-34,7	161,32	N<S<P<K<Mg<Ca
AM	-29,4	-8,8	27,2	32,3	24,1	-45,4	167,21	S<N<P<Mg<K<Ca
FB	-33,1	-9,9	33,4	31,7	15,5	-37,7	161,37	S<N<P<Mg<Ca<K
FM	-32,4	-15,4	29,8	29,1	10,6	-21,7	139,03	N<S<P<Mg<Ca<K
FA	-34,6	-20,8	47,3	17,5	-1,9	-7,4	129,54	N<P<S<Mg<Ca<K

Tabla 4.15. Normas DRIS en plántulas de maíz de 30 días. Estudio de micronutrientes. Sumatorio de Índices y Orden de necesidades

TRATAM	Fe	Mn	Zn	Cu	Σ. de Índices	Orden de Necesidades
C	-10,2	12,2	33,8	-35,9	92,05	Cu<Fe<Mn<Zn
AM	-3,6	5,2	6,0	-7,6	22,44	Cu<Fe<Mn<Zn
FB	-7,6	12,4	27,2	-32,1	79,3	Cu<Fe<Mn<Zn
FM	-22,5	14,4	25,9	-17,8	80,6	Fe<Cu<Mn<Zn
FA	-10,0	27,6	16,0	-33,7	87,2	Cu<Fe<Zn<Mn

plántulas de 45 días.

Respecto a la fase anterior (plántulas de 30 días), resultó evidente que el equilibrio nutricional de las plántulas fue peor, según pusieron de manifiesto los sumatorios de índices, mucho mayores en este período (Tabla 4.16). Ello pudo derivarse de las dificultades que debió tener una planta como el maíz para crecer en macetas de dimensiones reducidas, razón por la cual no se prolongó más este ensayo, según se ha indicado en apartados anteriores.

No obstante, se comprobó que la dosis más alta de F tendía a corregir posibles deficiencias de N, aunque empeoraba, comparativamente,

la situación del P. En general, la aplicación de F, como ya ocurriera con las plántulas de 30 días, ocasionó mayores desequilibrios potenciales de P (Tabla 4.16). Sin embargo, conviene recordar que en el caso del ryegrass, la aplicación de F, incluso en su dosis más alta, potenció la absorción de P, incluso en mayor medida que la de otros macronutrientes básicos, por lo que no debe deducirse de estos resultados que, de una forma general, el F incida negativamente sobre la fitoasimilabilidad del P.

Cuando se examinaron los valores de absorción y extracción de P por parte del maíz, ya se indicó que convendría examinar en campo la respuesta al F de este cultivo, donde ya se podrían analizar plantas más desarrolladas, poseedoras de un sistema radicular más extendido. Esta afirmación obedecía a que se observó cierta mejora en la toma de P en las plantas de 45 días, sometidas a la máxima dosis de F, respecto a las de 30 días.

Realmente, si observamos los índices DRIS para P de las plántulas de maíz de 30 y 45 días (Tablas 4.14 y 4.16), y los comparamos con los obtenidos en los tratamientos C y AM, se comprueba que el aumento de negatividad disminuyó notablemente en las plantas de 45 días. En las de 30 días, el aumento de negatividad del índice DRIS de P ocasionado por el tratamiento FA fue de un 180 %, respecto al obtenido en el tratamiento C, y de 136 % respecto al tratamiento AM. Estos valores fueron, respectivamente, 80 y 111 % en el caso de las plántulas de 45 días.

Si en un espacio de tiempo tan reducido, de sólo 15 días, la planta mejora su capacidad para la toma de P, bajo un determinado tratamiento,

cabe pensar que las dificultades iniciales para la absorción de este nutriente están influenciadas por aspectos de la propia fisiología de la planta, además de la variación de disponibilidad que el nutriente pudiera estar experimentado en el suelo. No hay que olvidar que todos los tratamientos fertilizantes que se aplicaron en este ensayo dispusieron de una base fosfatada común, en forma de superfosfato.

Tabla 4.16. Normas DRIS en plántulas de maíz de 45 días. Estudio de macronutrientes. Sumatorio de Indices y Orden de necesidades

TRATAM	N	P	K	Ca	Mg	S	ξ. de Indices	Orden de Necesidades
C	-109,4	-49,2	89,4	111,1	53,3	-95,2	507,5	N<S<P<Mg<K<Ca
A M	-90,2	-41,9	70,7	84,7	63,4	-86,7	437,71	N<S<P<Mg<K<Ca
F B	-103,6	-45,7	103,3	91,3	38,9	-84,1	467,0	N<S<P<Mg<Ca<K
F M	-107,2	-58,0	124,1	85,2	21,1	-65,3	461,0	N<S<P<Mg<Ca<K
F A	-66,6	-88,5	153,6	64,3	8,4	-71,2	452,7	P<S<N<Mg<Ca<K

Tabla 4.17. Normas DRIS en plántulas de maíz de 45 días. Estudio de micronutrientes. Sumatorio de Indices y Orden de necesidades

TRATAM	Fe	Mn	Zn	Cu	ξ. de Indices	Orden de Necesidades
C	-60,8	1,3	9,4	50,1	121,6	Fe<Mn<Zn<Cu
A M	-11,8	4,0	-10,4	18,1	44,3	Fe<Zn<Mn<Cu
F B	-33,09	11,5	1,9	19,7	66,2	Fe<Zn<Mn<Cu
F M	-40,3	18,1	1,5	20,7	80,6	Fe<Zn<Mn<Cu
F A	-22,0	25,3	-3,2	-0,12	50,5	Fe<Zn<Cu<Mn

Cuando acabamos de afirmar, viene a ser corroborado por el hecho de que Murillo et al. (1997), trabajando con esta misma variedad en campo, comprobaron que, independientemente de la intensidad de la fertilización aplicada, los índices DRIS para P más bajos (más negativos) correspondieron siempre (durante los cinco años que duró el estudio) a las plántulas recolectadas 24-27 días después de la siembra. En fases posteriores del desarrollo, antes y madurez, estos índices se corrigieron en mayor o menor medida.

Por consiguiente, cabe pensar que aunque la aplicación creciente de F pueda limitar ligeramente la disponibilidad de P, mediante procesos de quelatación, relaciones entre nutrientes u otros factores, esta limitación puede resultar trivial para la mayoría de las especies, y sólo en el caso de algunas plantas muy sensibles durante su crecimiento inicial, como el maíz, podría afectarse en cierta medida la absorción de P. De cualquier forma, esta limitación inicial podría ser superada progresivamente incluso en el caso de este cultivo. No conviene olvidar que las plántulas de 45 días alcanzaron pesos similares bajo los tratamientos fertilizantes, sin que ninguno de ellos perjudicase su desarrollo.

Como ocurrió en el caso de las plántulas de 30 días, el tratamiento FA ocasionó sumatorios de índices DRIS más bajos, en general, que los ocasionados por los restantes tratamientos. Esto prueba que, en conjunto, la dosis alta de F resultó positiva para la planta, dado que a sumatorios altos suelen corresponder peores equilibrios nutricionales (Walworth y Sumner, 1987).

Se observó de nuevo un acusado efecto del F sobre los índices de K, indicadores de niveles cada vez más excesivos conforme aumentaba la dosis aplicada (Tabla 4.16). Por el contrario, la dosis máxima de F tendía a equilibrar los excesos de Ca y Mg que se detectaban en otros tratamientos. El peor equilibrio nutricional de las plantas de 45 días, respecto a las de 30 días, pudo obedecer en gran medida a la paulatina carencia de S que experimentaron las plántulas, carencias que sólo consiguieron mitigar ligeramente los tratamientos FM y FA, según se desprende de los valores de los índices respectivos (Tabla 4.16).

En cuanto a los micronutrientes, se observó un efecto positivo de la dosis máxima de F sobre Fe y Cu, mitigando en parte la carencia relativa del primero (que apareció en todos los tratamientos como el más deficitario, (Tabla 4.17) y corrigiendo niveles algo excesivos del segundo, especialmente los del tratamiento control. Por el contrario, esta dosis continuó desequilibrando en cierta medida al Mn, siempre por exceso (Tabla 4.17).

En líneas muy generales, podemos concluir este capítulo diciendo que la metodología DRIS ha confirmado en gran medida los resultados obtenidos en otros apartados (producción de biomasa y niveles nutricionales), puesto que, al margen de ciertos desequilibrios nutricionales que pudieran haberse producido (mucho más probables en pequeños contenedores, donde el sistema radicular se ve constreñido a explotar el volumen de suelo que cabe en el contenedor), lo cierto es que las plantas regadas con la dosis más alta de F, (siempre con una base mineral de fondo) alcanzaron un desarrollo similar al de las fertilizadas únicamente

con el abono mineral, siendo incluso ligeramente mejor el equilibrio nutricional de las primeras, según mostraron los sumatorios de índices DRIS tanto de las plántulas de 30 como de 45 días.

IV.4. INFLUENCIA DEL FERTIORMONT SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO.

Teniendo en cuenta la elevada carga orgánica que caracteriza a este producto, al margen de las diluciones que pudieran realizarse para el uso agrícola, se decidió prestar especial atención al estado en que podría quedar un suelo tras un tratamiento continuado con F, o tras la aportación de una dosis masiva del mismo. Por esta razón, y para determinados análisis, caso de las actividades enzimáticas, sólo se seleccionó el suelo tratado con la dosis máxima de F.

Este estudio se centró en tres aspectos fundamentales: variación de las actividades enzimáticas tras el aporte masivo de F, variaciones de determinadas propiedades químicas del suelo, seleccionadas por resultar básicas para el desarrollo y nutrición de los cultivos, y, por fin, germinación de semillas sensibles a fitotóxicos en el suelo que había recibido la dosis máxima de F. Pensamos que con estos tres aspectos se cubre un amplio margen de lo que hoy día se entiende por calidad de suelos (Bigham, 1994).

IV.4.1. Influencia del Fertiormont sobre las actividades enzimáticas del suelo

Según se acaba de indicar, para este ensayo sólo se utilizó el suelo que había recibido la carga máxima de F, en el que, presumiblemente, los posibles efectos del producto sobre las actividades enzimáticas pudieron ser más acusados y, por tanto, más fácilmente detectables.

La actividad enzimática de un suelo es tomada con frecuencia por diversos autores como índice de la productividad, toxicidad o fertilidad del mismo (Brendecke et al., 1993; Schaffer et al., 1993). De ahí la importancia de su estudio. Esta actividad depende de aspectos como el clima, tipo de cultivo y propiedades del suelo, si bien es cierto que existen otros factores como el contenido de materia orgánica y masa microbiana, que están intrínsecamente relacionados con ella.

Existe una clasificación de los enzimas, postulada por Burns (1982), que las agrupa en 10 categorías, en función de su localización. Cualquier enzima puede estar presente en varias de estas categorías durante su existencia como tal enzima. Puede aparecer en el interior de una célula viva, ser liberada al exterior mediante lisis o filtración celular y pasar a unirse, entre otras alternativas, a restos de células muertas o coloides minerales y organominerales del suelo.

Por consiguiente, es fundamental tener en cuenta estas circunstancias para valorar, e interpretar, adecuadamente los niveles de actividad

enzimática de un suelo. Un análisis pormenorizado de la metodología de ensayo es fundamental para minimizar el número de variables a estudiar y poder llegar a una correcta interpretación de los resultados, de forma que podamos conocer con precisión, entre otros aspectos, los efectos de la aplicación de enmiendas orgánicas sobre el suelo, que no siempre se traducen en un aumento de la actividad enzimática (Bonmati et al., 1991; Nannipieri, 1996_a).

En este capítulo se ha optado por abordar el estudio de cinco actividades enzimáticas: ureasa y fosfatasa alcalina, trascendentes ambas para la fertilidad de un suelo al estar implicadas como hidrolasas en el ciclo del N y del P respectivamente, arilsulfatasa, relacionada con la mineralización del S, β -glucosidasa y deshidrogenasa, las cuales facilitan información acerca de la evolución de la materia orgánica.

La Fig.IV.15 refleja las actividades enzimáticas ensayadas en el suelo control y en el suelo tratado con la dosis máxima de F. Las menores diferencias se registraron en el caso de la actividad ureasa (sólo 13 % mayor en el suelo tratado con F), sin que llegara a registrarse una diferencia estadísticamente significativa.

Cuando se añaden enmiendas orgánicas a los suelos, se suele detectar un aumento inicial de la actividad ureasa, como consecuencia del paralelo aumento inicial de substrato, actividad que se irá estabilizando poco a poco (Martens et al., 1982). En nuestro caso, la adición de una fracción húmica estabilizada con el F, debió unirse o englobar al enzima, de forma que no se detectaron diferencias apreciables entre el suelo tratado y no tratado,

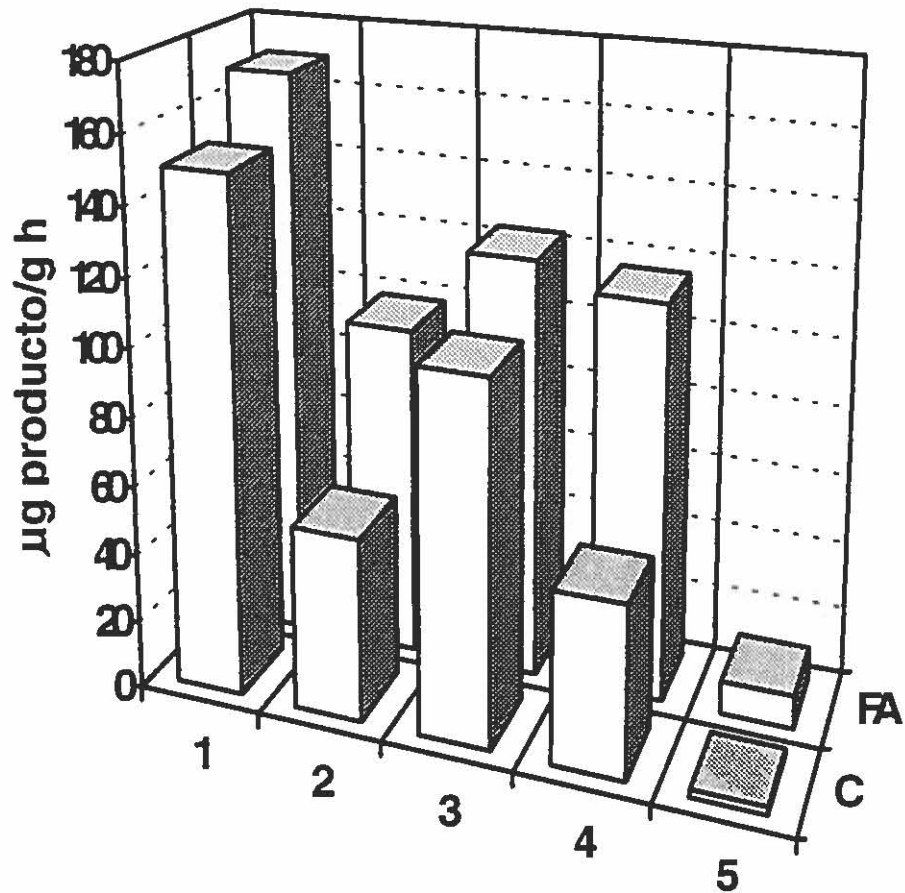


Fig. IV. 15. Actividades enzimáticas medidas en el suelo control (C) y en el suelo tratado con la dosis máxima de FERTIORMONT (FA). El producto liberado en el caso del enzima ureasa es amonio; en el caso de los enzimas fosfatasa, arilsulfatasa y β -glucosidasa es paranitrofenol y trifeníl-formazán en el de la deshidrogenasa. Excepto para la ureasa, siempre fueron significativas las diferencias entre C y FA ($P < 0.05$).

1, ureasa; 2, fosfatasa; 3, arilsulfatasa; 4, β -glucosidasa y 5, deshidrogenasa.

aunque la actividad del suelo tratado resultó ligeramente superior. Todo ello denota la existencia de una materia orgánica evolucionada en el suelo tratado con F, la cual puede actuar como reserva de N mineralizable.

Por el contrario, sí se detectó un fuerte aumento, significativo ($P < 0,05$) de la actividad fosfatasa, del orden del 83 %. Durante la fase de proliferación de microorganismos, con suficiente humedad en el sustrato, es difícilmente diferenciable la contribución de los componentes intracelular y extracelular sobre la actividad fosfatasa total. Sin embargo, tras el secado del suelo, la diferenciación es factible, dado que la actividad enzimática es debida, mayoritariamente, a enzimas extracelulares.

Por consiguiente, el fuerte incremento que hemos detectado en el suelo tratado, debe interpretarse como producto de la resistencia de estos enzimas a la desnaturalización y degradación, mediante su asociación a los coloides del suelo (Nannipieri et al., 1996). Es cierto que cuando existe una materia orgánica fácilmente biodegradable, además de una fracción húmica estable, como ocurre en el caso de F, se potencia inicialmente la actividad biológica, degradándose las fosfatasas ligadas al complejo organo-mineral. Pero la proliferación de microorganismos garantiza la síntesis de una fracción de estos enzimas, que, una vez terminado el crecimiento celular, serán protegidos por la fracción húmica estable, según se acaba de indicar.

Conviene recordar que los enzimas extracelulares no dependen de la actividad microbiológica "actual", aunque pueden ser el resultado de la misma. Sin embargo, su actividad "actual" si puede depender, via

"protección", de la estabilización del complejo húmico del suelo, al que se encuentran ligadas. de esta forma, la madurez de las enmiendas es un aspecto que incide positivamente sobre el grado de actividad fosfatasa (Serra-wittling et al., 1995).

En el caso del enzima arilsulfatasa, cuya actividad es una medida de la capacidad de un suelo para hidrolizar los sulfatos orgánicos, la aplicación de F también provocó un aumento significativo ($P < 0,05$), aunque mucho más moderado que en el caso de la actividad fosfatasa. Esta moderada diferencia entre los suelos tratado y no tratado también puede ser reflejo de la presencia de un complejo húmico estabilizado.

Por el contrario, los fuertes incrementos de actividad β -glucosidasa y deshidrogenasa ocasionados por el F, 133 % y 341 % respectivamente, respecto al suelo sin tratar, nos están indicando que en el producto existe una fracción de materia orgánica joven que permite la aparición de un ritmo notable de hidrólisis de glucósidos (Serra-Witting et al., 1995).

Podemos concluir diciendo que los valores de actividad enzimática obtenidos para ureasa, fosfatasa y arilsulfatasa prueban la existencia de una fracción húmica estabilizada, mientras que los obtenidos para β -glucosidasa y deshidrogenasa reflejan la presencia de una fracción de materia orgánica joven y en descomposición.

En principio, los resultados obtenidos también parecen indicar que la adición de materia orgánica se está efectuando de forma adecuada, ya que propicia la actividad biológica al tiempo que asegura la creación de un reservorio de enzimas, y nutrientes, en el suelo. No obstante, se trata de

los primeros resultados obtenidos, que aunque muy orientativos, no se pueden considerar definitivos. Existen aspectos muy importantes que aún no han sido abordados, como la interacción de distintas dosis de fertilizantes inorgánicos sobre las actividades enzimáticas derivadas de distintos niveles de F aplicados, pero que obviamente escapan a los principales objetivos que se plantearon en este Proyecto.

IV.4.2. Influencia del Fertiomont sobre propiedades químicas del suelo

En este caso se incluyeron todos los suelos tratados, además del control. La Fig.IV.16 muestra que sólo la dosis máxima de F aumentó significativamente la conductividad eléctrica del suelo, aunque el nivel alcanzado, $325 \mu\text{S cm}^{-1}$, es perfectamente tolerado por la mayoría de los cultivos. Tampoco se registraron variaciones de pH, que resultó ser de 8 en todos los suelos tratados.

Como cabía esperar, la presencia de F aumentó el contenido de M.O. del suelo de forma proporcional a la dosis aplicada, siendo siempre significativos ($P < 0,05$) estos aumentos respecto al control, aumentos que fueron del orden del 20 % en el caso de la dosis baja (tratamiento FB), 32% en el de la dosis media (FM) y 44 % en el de la dosis alta (FA). Puede comprobarse que, en cierta medida, respondieron al "pattern" de diluciones efectuadas.

Por el contrario, los nutrientes N, P y K respondieron de forma

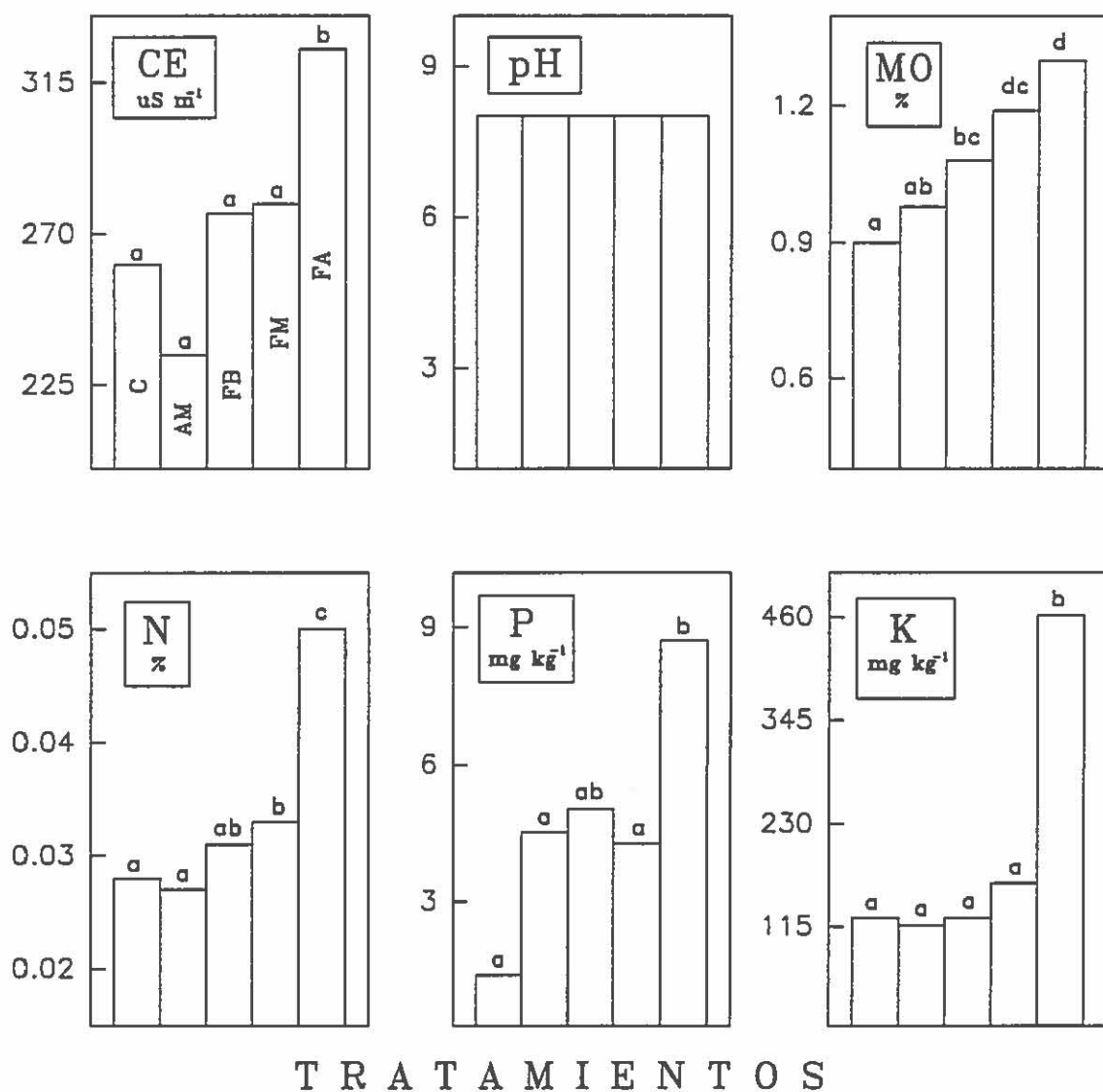


Fig. IV. 16. Valores medios de Conductividad Eléctrica (CE) pH, Materia Orgánica (MO), N, P y K de los suelos control (C) y tratados con abono mineral (tratamiento AM) y con las dosis baja (tratamiento FB), media (FM) y alta (FA) de FERTIORMONT. Para cada parámetro, barras con la misma letra no son diferentes estadísticamente ($P < 0.05$).

mucho más acusada a la aplicación de la dosis alta de F que los restantes tratamientos, especialmente en el caso del K (Fig.IV.16.). Resultó muy interesante comprobar que, a pesar de incluir todos los tratamientos fertilizantes una base mineral común, sólo la dosis alta de F ocasionó aumentos generalizados, significativos, no sólo respecto al suelo control, sino también, respecto al tratamiento exclusivo con abono mineral (AM).

En el caso del N y P, las dosis baja y media de F tendían a superar la disponibilidad registrada para ambos nutrientes en el suelo control, aunque sólo se registró una diferencia significativa en el caso del N, entre los tratamientos F dosis media (FM) y control (C). En el caso del P, todos los tratamientos fertilizantes aumentaron la concentración del nutriente, respecto al nivel del suelo control, aunque la dispersión de resultados evitó que las diferencias fuesen significativas. Ello sólo se produjo en el caso de la dosis máxima de F, debido al aumento tan espectacular que motivó en la concentración de P. Como se recordará (Fig.IV.15.) este tratamiento también aumentó significativamente la actividad fosfatasa en el suelo tratado, respecto al control, lo que estaría de acuerdo con los resultados obtenidos en relación con el P disponible.

Debido precisamente a estos aumentos tan espectaculares de la concentración de nutrientes básicos, ocasionados por la dosis alta de F, es por lo que afirmábamos en el apartado anterior (actividades enzimáticas) que sería imprescindible estudiar la interacción que pudiera producirse entre el abono mineral y el F, en relación con la actividad enzimática del suelo. Esto es, si la aplicación de abono mineral potencia o no la acción del F en este sentido (en el caso del K no parece ser decisiva la presencia

de abono mineral).

En el caso de los micronutrientes analizados (Fig.IV.17.) resultó mucho más evidente la acción de F, positiva en general, incluso de forma independiente de la dosis aplicada en algunos casos, como el de Zn y Cu. En el caso del Mn, y sobre todo del Fe, la dosis máxima (tratamiento FA) sí resultó mucho más efectiva, propiciando concentraciones significativamente mayores que las originadas por los restantes tratamientos.

El conjunto de resultados presentados en este apartado ha servido para mostrar el efecto tan beneficiosos que, sobre propiedades básicas del suelo, puede llegar a tener la aplicación del FERTIORMONT líquido. Este efecto, junto al observado en el caso de las actividades enzimáticas, aconsejarían la potenciación de su uso como abono orgánico líquido.

IV.4.3. Germinación de semillas sensibles (*Lepidium* y ryegrass) en suelos tratados con FERTIORMONT

El único aspecto que podría plantear ciertas dudas, una vez conocida la acción beneficiosa del producto sobre la calidad del suelo, es si su acumulación progresiva, o el aporte masivo de un cantidad importante, podría "limitar" en cierta medida la capacidad germinativa de futuros cultivos. Por esta razón se decidió realizar bioensayos de germinación con semillas de *Lepidium* y ryegrass, plantas de probada sensibilidad a

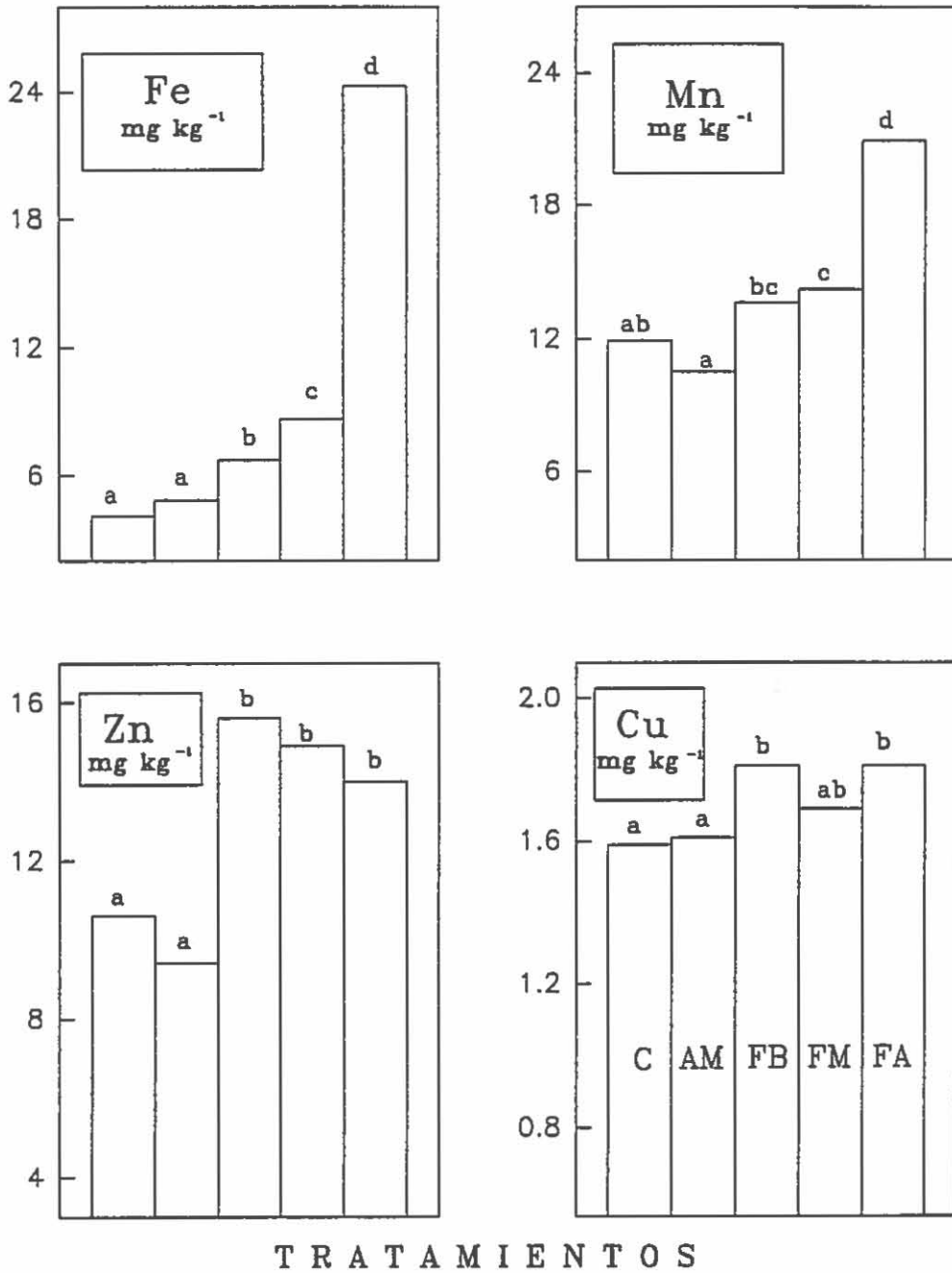


Fig. IV. 17. Valores medios de las concentraciones de Fe, Mn, Zn y Cu extraídos con DTPA en el suelo control (tratamiento C) y los suelos tratados con abono mineral (tratamiento AM), dosis baja (tratamiento FB), media (FM) y alta (FA) de FERTIORMONT. Barras con la misma letra no difieren estadísticamente ($P < 0.05$).

fitotóxicos durante su germinación (Murillo et al., 1993).

En estos ensayos pudo comprobarse que la presencia de F en el suelo no planteó ningún tipo de problemas para la germinación de ambas especies. Efectivamente, la Fig.IV.18 muestra que los porcentajes de germinación de *Lepidium*, para cada tiempo de medida, no experimentaron cambios significativos como consecuencia de ninguno de los tratamientos aplicados. Curiosamente, sólo el abono mineral (tratamiento AM) ocasionó una disminución inicial de germinación (24 h), no significativa respecto a la registrada en los restantes tratamientos, disminución "corregida" al parecer por la presencia de F, especialmente en sus dosis más bajas. Las primeras fases del crecimiento de la radícula resultan tan sensibles a la presencia de fitotóxicos, o incluso más, que la propia germinación. Según muestra claramente la Fig.IV.18, los menores crecimientos radiculares de *Lepidium* volvieron a registrarse en el suelo tratado con abono mineral, en ocasiones, con diferencias significativas respecto a otros tratamientos.

Teniendo en cuenta que los suelos tratados con F también habían recibido la fertilización mineral de base, cabe pensar que el posible efecto depresor de este abono sobre el crecimiento radicular pudo ser "mitigado" en parte por la presencia de F.

Por consiguiente, de los resultados obtenidos con *Lepidium* parece deducirse que la acumulación de F en el suelo, no sólo no perjudica la germinación y crecimiento radicular de las plántulas de esta especie, sino que las favorece, permitiendo incluso que puedan ser superadas las "limitaciones" impuestas por la aplicación de abonos minerales tradicionales.

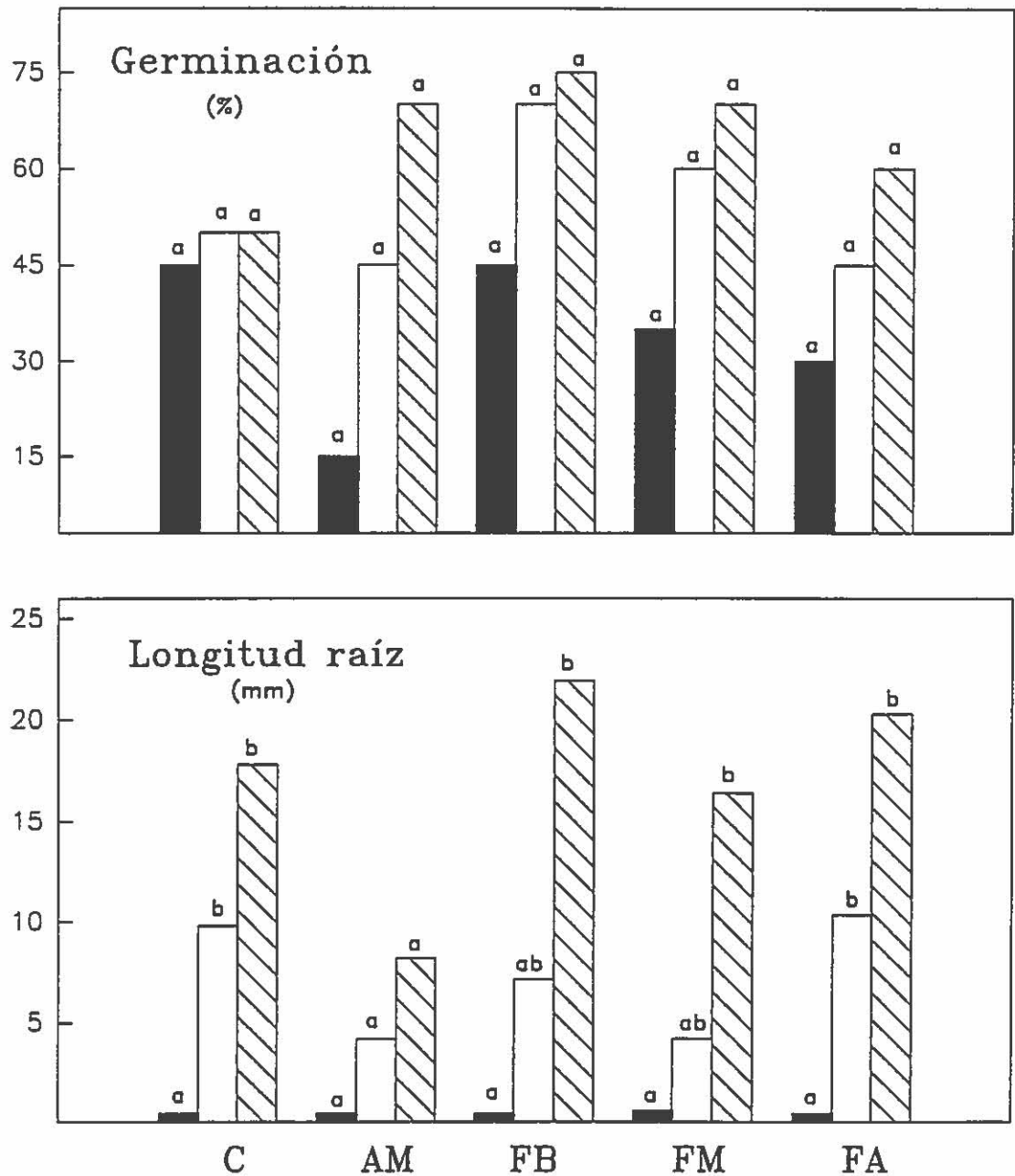


Fig. IV. 18. Germinación y longitud de raíz principal de *Lepidium* a las 24 h (barras negras), 48 h (barras blancas) y 72 h (barras rayadas) de iniciado el bioensayo de germinación en los suelos control (C), tratado con abono mineral (AM) y dosis baja (FB), media (FM) y alta (FA) de FERTIORMONT. Barras del mismo color con la misma letra no difieren estadísticamente ($P < 0.05$).

La Fig.IV.20 muestra este hecho de una forma esquemática. En ella se muestra que, respecto al control (C, siempre 100), los índices de germinación más bajos obtenidos para *Lepidium* se obtuvieron en el suelo tratado con abono mineral (AM), mientras que resultaron similares, o superiores (72 h), a los de control en los suelos que también habían recibido FERTIORMONT. No obstante, debido a la concentración de nutrientes que pueden llegar a ocasionar en el suelo las dosis más altas de este producto (efecto osmótico), los índices de germinación correspondientes a los tratamientos FM y FA resultaron en ocasiones ligeramente más bajos que los obtenidos con el tratamiento FB.

En el caso del ryegrass (Fig.IV.19.), pudo comprobarse que la adición de abono mineral (AM) no limitó en absoluto la germinación y desarrollo radicular, cuyos valores resultaron, en general, superiores a los correspondientes obtenidos para el control. Algo similar ocurrió en los suelos tratados con F, aunque la mayor dispersión de los datos obtenidos para esta especie impidió que se produjeran diferencias significativas en la mayoría de los casos.

Pero, como en el caso de *Lepidium*, puede afirmarse categóricamente que la presencia de F en el suelo nunca perjudicó la germinación y el desarrollo de la raíz principal del ryegrass. Este hecho refleja claramente la Fig.IV.20, al comparar, respecto al control, los índices de germinación obtenidos para los tratamientos con F. Debido al posible efecto osmótico considerado anteriormente, estos índices resultaron ligeramente más bajos en el caso de los tratamientos FM y FA.

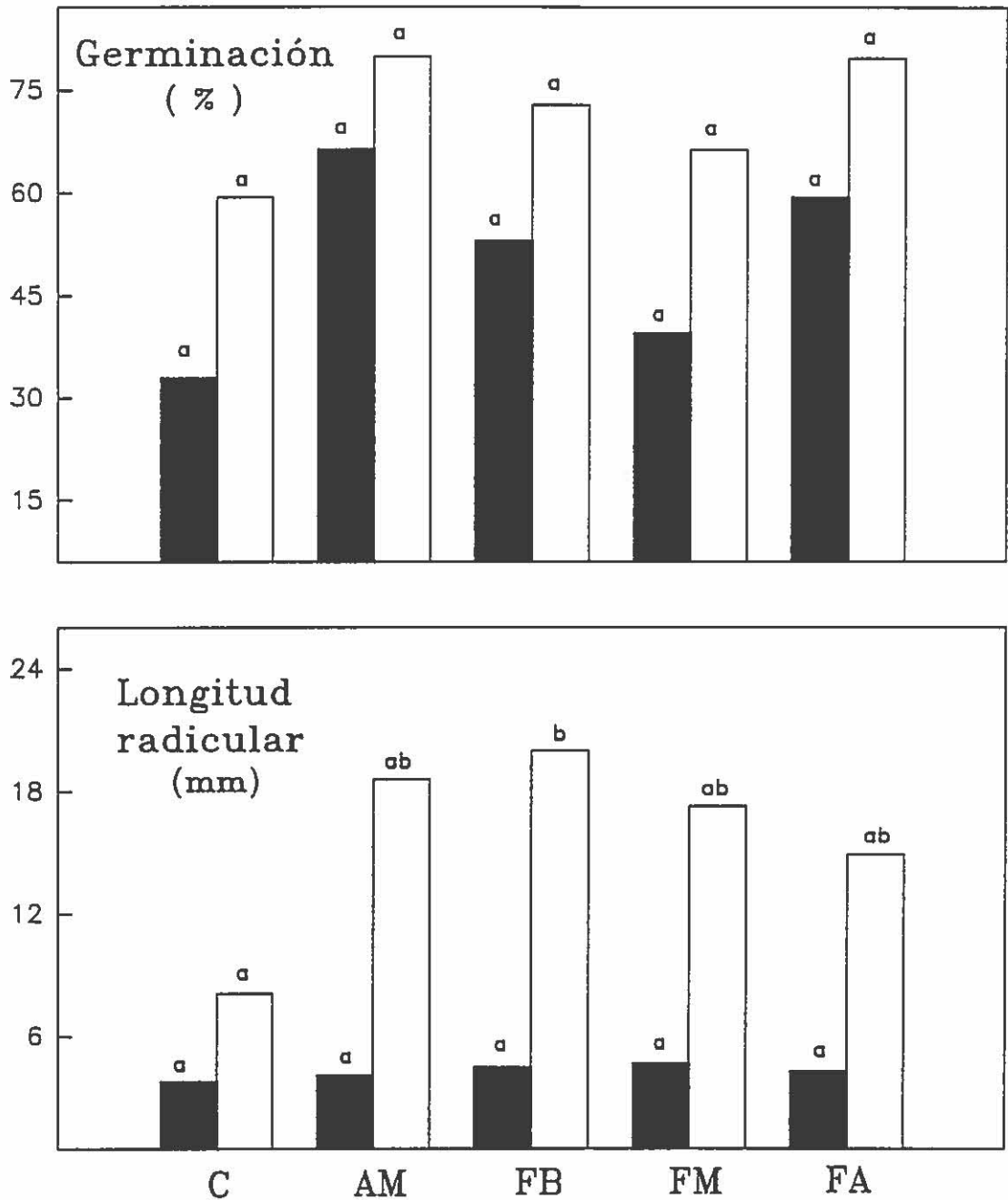


Fig. IV. 19. Germinación y longitud de raíz principal de ryegrass a las 48 h (barras negras) y 72 h (barras blancas) de iniciado el bioensayo de germinación en el suelo control (C), tratado con abono mineral (AM) y con las dosis baja (FB), media (FM) y alta (FA) de FERTIORMONT. Barras de un mismo color con la misma letra no son diferentes estadísticamente ($P < 0.05$).

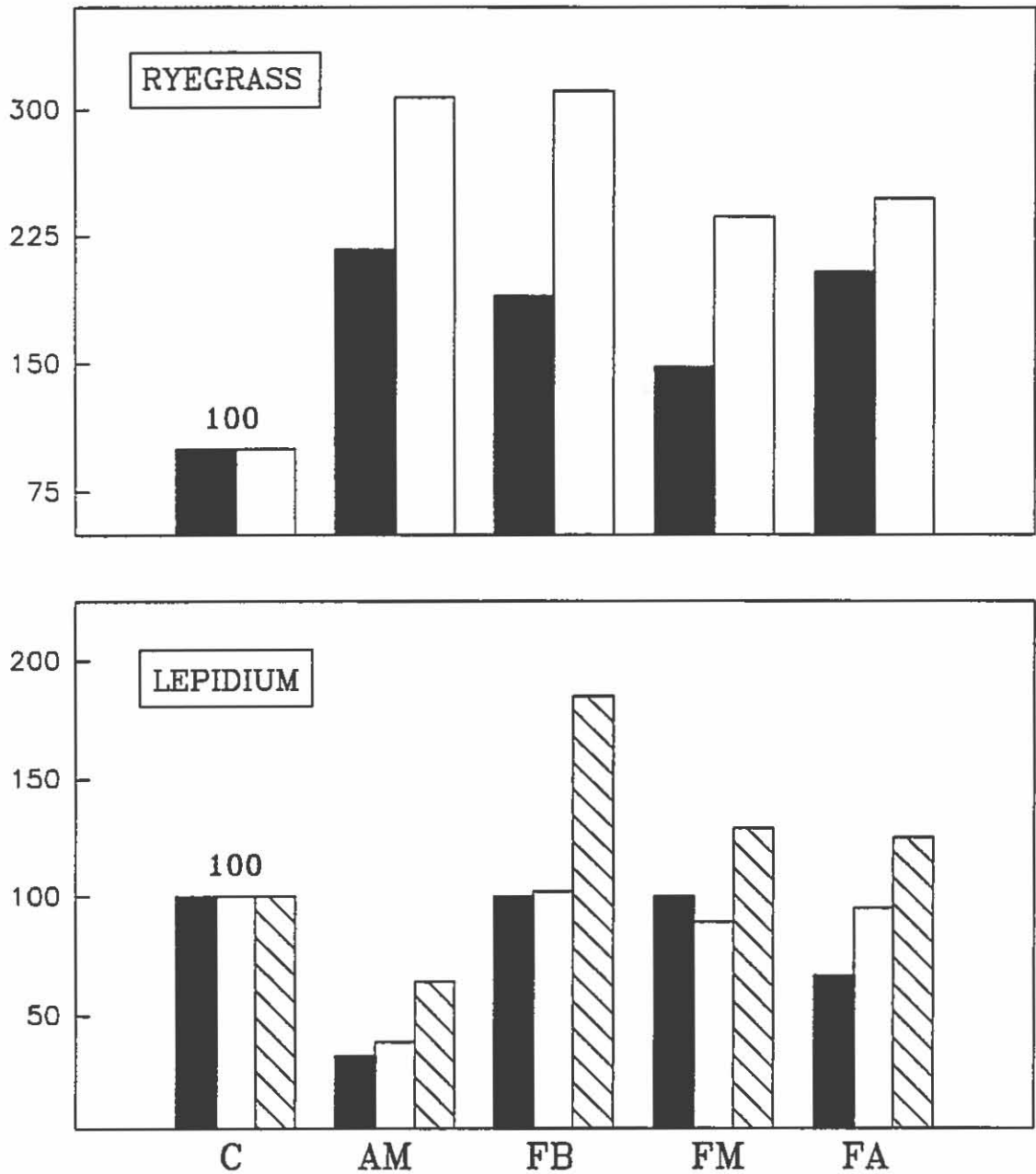


Fig. IV. 20. Indices de germinación obtenidos a las 48 h (barras negras) y 72 h (barras blancas) para ryegrass y a las 24 h (barras negras), 48 h (barras blancas) y 72 h (barras rayadas) para Lepidium en los suelos control (C) y tratados con abono mineral (AM) y dosis baja (FB), media (FM) y alta (FA) de FERTIORMONT.



La dosis alta de FERTIORMONT, no sólo permitió un crecimiento espectacular del Ryegrass (fotografía superior) sino también una excelente germinación y desarrollo de la plántula (fotografía inferior), según pudo comprobarse en un bioensayo realizado con estos mismos suelos, una vez cultivado el Ryegrass (fotografía inferior).

A decorative border with a double-line effect and ornate, scroll-like corners framing the page content.

V. CONCLUSIONES

1.- El abono líquido FERTIORMONT^R, producto utilizado en nuestros ensayos, posee un contenido de extracto húmico del 29,2 %, por lo que puede ser definido como enmienda húmica líquida, siendo su relación C/N bastante equilibrada, lo que implica una lenta liberación de N para las plantas. Podemos destacar su concentración elevada de K y Fe, y contenidos muy bajos de metales pesados potencialmente tóxicos, por lo que su aplicación continuada a los suelos no plantea problemas en este sentido.

2.- La progresiva concentración de Fertiormont en el suelo, aportado incluso en dosis tan altas como la que supone el tratamiento FA, nunca creó problemas de tipo osmótico a la planta, problemas que podrían haber interferido negativamente sobre la absorción radicular de agua. Todos los tratamientos fertilizantes, incluidos los establecidos a base de F, ocasionaron contenidos de humedad en ryegrass y maíz, significativamente más altos, en general, que los correspondientes controles. En las plantas de maíz de 45 días, el mayor contenido en humedad correspondió al tratamiento FA (dosis alta de F).

3.- Los efectos del Fertiormont sobre la producción de biomasa del ryegrass resultaron espectaculares. La dosis alta aplicada ocasionó un ritmo de consecución de materia seca muy superior al de los restantes tratamientos, de forma que en el tercer y último corte efectuado, el incremento de peso verde ocasionado por este tratamiento superó en más

de un 1000 % al obtenido en el tratamiento control. Los incrementos ocasionados por los restantes tratamientos no fueron más allá del 350 % (por ejemplo, la dosis media de F).

4.- También resultaron positivos los efectos del Fertiormont sobre la producción de biomasa del maíz, aunque inicialmente (plántulas de 30 días) ralentizó ligeramente su crecimiento, respecto al abono mineral (tratamiento AM). Pero en plántulas de 45 días, los mayores crecimientos de hoja (fracción más activa desde un punto de vista fotosintético) correspondieron a los tratamientos con abono mineral y dosis alta de F, lo que prueba que no existe riesgo alguno a la hora de tener que utilizar dosis altas de este producto.

5.- El Fertiormont ejerció un efecto muy positivo sobre la nutrición nitrogenada del ryegrass, aumentando este efecto positivo conforme se iba acumulando el producto en el suelo. La mayor concentración de N correspondió en la generalidad de los casos, al tratamiento FA (dosis alta de F). Algo similar ocurrió en el caso del K, por lo que puede concluirse que el F tiene un efecto sinérgico muy acusado en el caso de estos dos nutrientes (potencia su absorción junto al mayor desarrollo de la planta). En el caso del P y Ca se apreció cierto "efecto de dilución" del nutriente como consecuencia de la fertilización, aunque, en general, las extracciones globales epigeas mostraron el efecto positivo de estos tratamientos, en especial de la dosis alta de F (tratamiento FA).

6.- La presencia de Fertiorment potenció de forma indiscutible la absorción de micronutrientes por parte del ryegrass, llegándose a detectar en ocasiones auténticos "consumos de lujo", como en el caso del Mn, potenciados tal vez por la riqueza natural del sustrato. Las concentraciones más altas de Mn, en ryegrass, que se habían detectado hasta ahora en este mismo suelo, fueron del orden de 120-150 mg Kg⁻¹; los tratamientos FM y FA (dosis media y alta de F) llegaron a ocasionar niveles ligeramente superiores a los 500 mg Kg⁻¹. Aunque no de forma tan acusada, el F también tuvo un efecto muy positivo sobre las concentraciones de Fe, Zn y Cu en ryegrass.

7.- En el caso del maíz, también se observó un efecto positivo del Fertiorment, especialmente en sus dosis más altas, sobre la absorción de N y K, e incluso de S, aunque en el caso de los dos primeros nutrientes, el efecto sólo fue patente en las plántulas de 45 días. Por el contrario, el efecto positivo del F sobre la toma de S, resultó evidente en las plántulas de 30 días. En el caso de esta planta, las extracciones de N y K, e incluso las de S, resultaron mayores que las de P bajo los tratamientos fertilizantes, contrariamente a lo que se observó en el caso del ryegrass. Sin embargo, el "equilibrio nutricional" conseguido bajo estos tratamientos debió resultar beneficioso para la planta, a tenor de las producciones de biomasa conseguidas.

8.- En el caso de esta especie (*Zea mays* L. cv. Prisma) también se observó un efecto muy acusado del Fertiormont sobre las concentraciones y extracciones epigeas de Mn, ya que todos los tratamientos con F (FB, FM y FA) ocasionaron mayores valores de ambos parámetros que los obtenidos para el control y abono mineral, llegándose a una concentración próxima a los 160 mg Kg⁻¹ con la dosis alta (FA) en plantas de 30 días. También en el caso del Zn se observó cierto efecto potenciador del F sobre su concentración y absorción epigea, aunque no tan acusado como en el caso del Mn. Su efecto positivo sobre la toma de Fe y Cu fue algo más discreto.

9.- Las variaciones introducidas por la aplicación del Fertiormont sobre el equilibrio nutricional de las plántulas de maíz debieron resultar positivas, en general, dado que los sumatorios de índices DRIS más bajos siempre correspondieron a la dosis más alta de F aplicada.

10.- La aplicación de Fertiormont tuvo consecuencias positivas sobre diversos parámetros relacionados con la fertilidad y calidad del suelo, y así, pudo comprobarse que aumentó la materia orgánica del mismo de forma paralela a la dosis de F aplicada (incrementos del orden de 20 % para la dosis baja, FB, 39 % para la dosis media, FM, y 44 % para la dosis alta, FA). También se observaron aumentos en la concentración de N, P y K del suelo, especialmente notorios, y significativos respecto a los restantes tratamientos, en el caso de la dosis alta (FA). Las concentraciones

de Fe, Mn y Zn extraíbles con DTPA también aumentaron como consecuencia de la aplicación de F, siendo especialmente acusado el efecto de la dosis alta sobre las concentraciones de Fe y Mn.

11.- También se observó un aumento significativo de la actividad enzimática del suelo, tras la aplicación de la dosis alta de Fertormont, en relación con la detectada en el suelo control. La actividad ureasa aumentó en un 13 %, aunque la diferencia no resultó significativa. Por el contrario, sí se detectaron aumentos significativos (83 %) de la actividad fosfatasa, aril-sulfatasa (18 %), β -glucosidasa (133 %) y deshidrogenasa (341 %).

El tratamiento del suelo con Fertormont, ni aún en su dosis más alta (tratamiento FA), no resultó perjudicial para la germinación posterior de semillas sensibles a fitotóxicos (como son las de *Lepidium* o las del propio ryegrass). En el caso de *Lepidium*, la presencia de F llegó incluso a "corregir" la ralentización que sobre la germinación y desarrollo de la radícula ejerció el abono mineral (hecho normal cuando se utilizan abonos inorgánicos).

El conjunto de resultados obtenidos permiten concluir, de una forma general, que el FERTIORMOT LIQUIDO es un producto altamente cualificado para su distribución y uso agrícola, ya que reúne características muy positivas para la calidad del suelo y desarrollo de las plantas, aspecto importante, no sólo desde un punto de vista económico, sino también ecológico.



VI. BIBLIOGRAFIA

ADDISCOTT, T.M.; WHITMORE, A.P. y POWLSON, D.S. 1991. Farming, Fertilizer and the Nitrate Problem. CAB International, Wallingford (U.K.).

AMA, 1992. Alpechines: situación actual de las tecnologías de depuración. Informe nº 6/92. Dpto. Investigación. Consejería de Cultura y Medio Ambiente. Junta de Andalucía. Sevilla.

AMIRANTE, P. 1990. Tecnologías e instalaciones para la depuración por medio de procesos físicos de concentración y ósmosis. Reunión Internacional sobre tratamientos de alpechines. Córdoba.

ANDREU, L.; VAZ, R.; CABRERA, F.; MORENO, F. y MARTIN-ARANDA, J. 1991. Pérdidas de nitrato en un suelo recuperado de las marismas de Lebrija. Proc. III Simposio sobre "El Agua en Andalucía", 241-247. Córdoba.

A.O.A.C. (ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS). 1975. Official Methods of Analysis. Horwitz, W.(Ed.). AOAC, Washington. U.S.A.

BAILEY, R.W. 1973. Water in herbage. En: Chemistry and Biochemistry of Herbage. G. W. Buttler y R. W. Bailey, Eds., Vol 2, 13-24. Academic Press. London. U.K.

BARDSLEY, C. E. y LANCASTER, J.D. 1965. Sulfur. En: Methods of Soil Analysis. Part 2 (Ed. Black, C.A., Chemical and Microbiological Properties). Agronomy, 9, 1102-1110. SSSA. Madison, Wisconsin. U.S.A.

BARBIER, G. y CHABANNES, J. B. 1953. Contribution a l'étude du bore dans le sol et les plantes. Ann. Agron., 1, 1-17.

BARRACLOUGH, P. B. y LEIGH, R. A. 1993. Critical plant K concentration for growth and problems in the diagnosis of nutrient deficiencies by plant analysis. Plant and Soil, 155/156, 219-222.

BARWART, W.L.; TABATABAI, M.A. y BREMNER, J.M. 1972. Determination of ammonium in soil extracts and water samples by ammonia electrode. Commun soil Sci. Plant Anal., 3, 449-458.

BIGHAM, J.M. 1994. Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. SSSA Specif Publication Number 35. Soil Science Society of America, Inc. American Society of Agronomy, Inc. Madison, Wisconsin. USA.

B.O.E. nº 146 de 19/ JUN/ 91. Orden Ministerial de 14 de Junio de 1991 sobre fertilizantes y afines.

BOLTON, H. Jr.; ELLIOTT, L.F.; PAPENDICK, R.I y BEZDICEK, D.F. 1985. Soil microbial biomass and selected soil enzyme activities. Effect of fertilization and cropping practices. Soil Biol. Biochem., 17, 297-302.

DE BERTOLDI, M.; FILLIPI, C. y PICCI, G. 1986. Olive residue composting and land utilization. Proc. Int. Symposium on the olive by-products valorization, 307-326. FAO, UNDP. Sevilla.

DE LA ROSA, D.; BAÑOS, C.; MUDARRA, J.L.; BARAHONA, E.; MOREIRA, J.M.; GAGO, R.; PUERTAS, J.M. y RAMOS, A. 1984. Catálogo de Suelos de Andalucía. Monografías del Medio Ambiente. Junta de Andalucía. Sevilla.

DORAN, J.W.; SARRANTONIO, M y LIEBIG, M.A. 1996. Soil Health and Sustainability. En: *Advances in Agronomy*. (Ed. Sparks, D.L.). Vol 56, 2-54. Academic Press. San Diego. USA.

DUPUY DE LOME, E. y MARTINEZ BORDIU, A. 1991. Investigaciones sobre eliminación de residuos líquidos de la fabricación del aceite ("alpechín") mediante infiltración en suelos margo-calizos. *MAFRE Seguridad*, 41, 41-45.

ELWALI, A.M.A.; GASCHO, G.J. y SUMNER, M.E. 1985. DRIS Norms for 11 nutrients in corn leaves. *Agron., J.* 77, 506-508.

EL-FOULY, M.M.; FAWZI, A.F.A.; FIRGANY, A.M. y EL-BAZ, F.K. 1984. Micronutrient status of crops in selected areas in Egypt. *Commun. in Soil Sci. Plant Anal.*, 15, 1175.

FELIPO, 1996. Compost a source of organic matter in mediterranean soils. En: *The Science of Composting (part 1)* (M. de Bertoldi, P. Sequi, B.Lemmes, T. Papi. Eds.), 402-412. Blockie Academic of Professinal, London. U.K.

FIESTAS ROS DE URSINOS, J.A. 1986a. Current status and technology concerning the problem posed by vegetacion water. Proc. Intern. Symp. on Olive by-Products Valorization, 11-15. FAO, UNDP, Sevilla.

FIESTAS ROS DE URSINOS, J.A. 1986b. Vegetation water used as fertilizaer Proc. Int. Symp. on Olive by-Products Valorization. FAO, UNDP, Sevilla, 321-320.

FIESTAS ROS DE URSINOS, J.A. y BORJA DE PADILLA, R. 1992. Use and treatment of olive mill wastewater. Current situation and prospects in Spain. *Grasas y Aceites*, 43, 101-106.

FLOURI, F.; CHATJIPAOLIDIS, I.; BALIS, C.; SERVIS, D. y TJERAKK, C. 1990. Effect of olive oil mills liquid wastes on soil fertility. Reunión Intern. sobre Tratamiento de Alpechines. Córdoba.

FULLER, W.H. y WARRICK, A.W (Eds.) 1985. *Soils in Waste Treatment and Utilization*. CRC Press Inc. Boca Ratón, Florida. USA.

GALLARDO-LARA, F.; GOMEZ, M. y NOGALES, R. 1986. Depressing plant available manganese by the addition of town refuse compost. Proc. II Intern. Simposium

on "the Role of Micronutrients in Agriculture", 481-488. Toulouse.

GALLARDO-LARA, F. y NOGALES, R. 1987. Effect of application of town refuse compost on the soil plant system. A review. *Biological Wastes*, 19, 35-62.

GARCIA RODRIGUEZ, A. 1990. Eliminación y aprovechamiento agrícola del alpechín. Reunión Intern. sobre tratamiento de Alpechines. Córdoba.

GONZALEZ, J.L. 1995. Laboreo de Conservación frente a Laboreo Tradicional. Influencia sobre el Rendimiento y Estado Nutritivo de un Cultivo de Girasol. Proyecto Fin de Carrera. E.U.I.T.A. Sevilla.

GONZALEZ, M.D.; MORENO, E.; QUEVEDO-SARMIENTO, J. y RAMOS-CORMENZANA, A. 1990. Studies on antibacterial activity of wastewaters from olive oil mills ("alpechín"):inhibitory activity of phenolic and fatty acids. *Chemosphere* 20, 423-432.

GONZALEZ FERNANDEZ, J.L.; BELLEDO SEMPERE, E.; RUIZ MARTINEZ, J.L y BENITEZ CAMACHO, C. 1994. Una alternativa agrícola al problema ecológico de los alpechines. Actas III Congr. Intern. Química de la ANQUE. Vol II, 243-249. Tenerife.

GRIFFITH, G.; JONES, DIH. y WALTER, RJK. 1965. Specific and varietal differences in sodium and potassium in grasses. *J. Sci. Fd. Agric*, 16, 94-98.

HERNANDEZ, J.M. 1989. Estudio de la Acción de R.S. de la Ciudad de Sevilla Sobre Suelo y Diversas Especies Vegetales. Tesis Doctoral Univ. de Sevilla. Sevilla.

I.S.T.A (INTERNATIONAL SEED TESTING ASSOCIATION), 1985. International rules for seed testing rules. *Seed Sci. and Technol.*, 13, 299-355.

JARRELL, W.N. y BEVERLY, R.B. 1981. The dilution effect in plant nutrition studies. En: *Advances in Agronomy*, vol 34 (N.C.Brady, Ed.), 197-224. New York.

JONES, J.B. Jr; ECK, H.V. y VOSS, R. 1990. Plant analysis as an aid in fertilizing corn and grain sorghum. En: *Soil Testing and Plant Analysis* (Ed. Westerman, R.L.). 521-547. SSSA Inc., Madison, Wisconsin.

JONES, J. B. Jr.; WOLF, B. y HILL, M.A. 1991. *Plant Analysis Handbook*. Micro-Macro Publishing, Athens, Georgia. USA.

KELLING, K.A. y SCHULTE, E.E. 1986. Review: DRIS as a part of a routine plant analysis program. *J. Fert. Issues*, 3, 107-112.

LINARES, M.D.; MALDONADO, M.D.; MOLINA, R.M. y JIMENEZ, D. 1993. El alpechín: de contaminante orgánico a fertilizante orgánico. Dep. de Economía y Adm. Empresas de la Univ. de Málaga. Málaga. Informe Técnico.

LINDSAY, W.L. y NORWELL, W.A. 1978. Development of a DTPA soil test for Zn, Fe, Mn y Cu. Soil Scr. Sci. Am. J, 42, 421-426.

LOPEZ, R. 1992. Efectos Sobre el Suelo y los Cultivos de la Aplicación de Vinaza de Remolacha y Compost de Alpechín. Tesis Doctoral. Univ. de Sevilla. Sevilla.

LOPEZ, R. y CABRERA, F. 1993. La situación del tratamiento de alpechines en España. Boletín Agropecuario. Fundación La Caixa 30, 30-35.

LOPEZ, R.; MARTINEZ BORDIU, A.; DUPUY DE LOME, E.; CABRERA, F. y MURILLO, J.M. 1992. Land application of liquid wastes from olive oil industry ("alpechín"). Fresenius Environ. Bull, 1, 129-134.

LOPEZ, R.; CABRERA, F.; MURILLO, J.M.; FERNANDEZ, M. y SANCHEZ, M.C. 1993. El compost de alpechín como fertilizante orgánico. Efectos sobre ryegrass (cv. Barwoltra) en un ensayo de invernadero. Proc. IX Cong. Nac. Quim. ANQUE. Vol. 2, 181-188. Sevilla.

LOPEZ, R.; MARTINEZ BORDIU, A.; DUPUY DE LOME, E.; CABRERA, F. y SANCHEZ, M.C. 1996. Soil properties after application of olive oil mill wastewater. Fresenius Environ. Bull., 5, 49-54.

LUQUE, A. 1993. Utilización de Compost Urbano como Fertilizante Orgánico. Influencia sobre la Nutrición y Rendimiento de Lolium multiflorum Lam. (cv. Tewera) (2º año). Proyecto Fin de Carrera. E.U.I.T.A. Sevilla.

MARTENS, D.A.; JOHANSON, J.B. y FRANKERBERGER, W.T.Jr. 1992. Production and persistence of soil enzymes with repeated addition of organic residues. Soil Sci., 154, 53-61.

MARTIN-OLMEDO, P. 1996. Uso Agronómico de un Compost de Alpechín y una Vinaza Concentrada de Remolacha: Efecto a Corto y Medio Plazo. Tesis Doctoral. Universidad de Sevilla.

MARTINEZ NIETO, L. y GARRIDO HOYOS, S.E. 1994. El alpechín, un problema medioambiental en vías de solución (II). Química e Industria, 41, 817-822.

MENGEL, K. y KIRKBY, E.A. 1987. Principles of Plant Nutrition. International Potash Institute. Berna. Suiza.

MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACION DE ESPAÑA. 1986. Métodos oficiales de Análisis. Vol II. Madrid.

MOLINA, B. 1993. Utilización de Residuos Sólidos Urbanos Compostados (Sevilla), como Fertilizante Orgánico. Influencia sobre la Nutrición y Rendimiento de Lolium multiflorum Lam. cv. Tewera. Proyecto Fin de Carrera. EUITA. Sevilla.

MORENO, F.; CABRERA, F.; MURILLO, J.M.; FERNANDEZ, J.E.; FERNANDEZ-BOY, E. y CAYUELA, J.A. 1996. Nitrate Leaching under irrigated agriculture. En: Sustainability of Irrigated Agriculture. (Eds. Pereira et al.), NATO ASI Series, Series E: Applied Sciences, vol 312, 407-415. Kluwer Academic Publishers. Netherlands.

MURILLO, J.M.; CABRERA, F.; LOPEZ, R. y BRU, P. 1990. Utilización como abono de compost derivados de hojas de eucalipto y orujo de uva. Actas I Congr. Intern. de Química de la ANQUE. Vol II, 233-241. Puerto de la Cruz. Tenerife.

MURILLO, J.M.; CABRERA, F. y LOPEZ, R. 1993. Effect of beet vinasse on germination and seedling performance of ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam. cv. Barwoltra). J. Sci. Food Agric., 61, 155-160.

MURILLO, J.M.; CABRERA, F.; LOPEZ, R. y MARTIN-OLMEDO, P. 1995a. Testing low-quality urban compost for agriculture: germination and seedling performance of plants. Agric. Ecosyst. Environ., 54, 127-135.

MURILLO, J.M.; LOPEZ, R.; CABRERA, F. y MARTIN-OLMEDO, P. 1995b. Testing a low-quality urban compost as a fertilizer for arable farming. Soil Use and Management, 11, 127-131.

MURILLO, J.M.; CABRERA, P.; LOPEZ, R. y MOLINA, B. 1997a. Interacción N-Na en *Lolium multiflorum* cv. Barwoltra (esp. natrofila) en suelos ricos en K. Proc. VI Simposium Nacional, II Iberico Nutrición mineral de las plantas. Sevilla (en prensa).

MURILLO, J.M.; MORENO, F.; CABRERA, F.; FERNANDEZ, J.E. y FERNANDEZ-BOY, E. 1997b. Lowering the fertilisation rate for corn monocropping: nutritional parameters. J. Sci. Food Agric. (en prensa).

MURPHY, J. y RILEY, J.P. 1962. A modified single method for the determination of phosphate in natural waters. Anal. Chem. Acta 27, 31-36.

NANIMPIERI, P. 1996a. The potential use of soil enzymes as indicator of productivity, sustainability and pollution. En: Soil Biota: Management in Sustainable Farming Systems (Eds. PANKHUURST, C.E.; DOUBE, B.M.; GUPTA, V.V.S.R.; GRACE, P.R. y CSIRO, V.), 238-244. Australia.

NEGRO, M.J.; CABAÑAS, A.; CARRASCO, J.E. y SOLANO, M.L. 1994. Compostaje de fangos de alpechín. Actas III Congr. Intern. Química de la ANQUE. Vol II, 175-184. Puerto de la Cruz. Tenerife.

NOWAKOSKI, T.Z.; BOLTON, J. y BYERS, M. 1974. Effect of replacing Potassium by Sodium on growth and on inorganic composition of Italian ryegrass. J. Sci. Food Agric., 25, 271-283.

OLSEN, S.R.; COLE, C.W.; WATANABE, F.S. y DEAN, L.A. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. U.S. Dep. of Agriculture. Circular 939. USA.

OLSON, R.A. y SANDER, D.H. 1988. Corn Production. En: Corn and Corn Improvement (Eds. SPRAGUE, G.F. y DUDLEY, J.W.). Agronomy 18, 639-686. ASA, CSSA, SSSA, Inc. Madison, Wisconsin.

PEREZ, J.; DE LA RUBIA, T.; MORENO, J. y MARTINEZ, J. 1992. Phenolic content and antibacterial activity of olive waste waters. Environ. Toxicol Chem. 2, 489-495.

PINTA, M. (Ed.). 1971. Spectrométrie D'absorption Atomique. Applications à l'Analyse Chimique. Vol II. Masson et Cie. ORSTOM. Paris, II.

PINTA, M. y MIEMBROS DEL COMITE INTER-INSTITUTOS PARA EL ESTUDIO DE TECNICAS ANALITICAS DE DIAGNOSTICO FOLIAR. 1969. Méthodes de référence pour la détermination des éléments minéraux dans végétaux: N, P, Na, Ca y Mg. Oleagineux, 24, 497-504.

PINTA, M y MIEMBROS DEL COMITE INTER-INSTITUTOS PARA EL ESTUDIO DE TECNICAS DE DIAGNOSTICO FOLIAR. 1973. Méthodes de références pour la détermination des éléments minéraux dans les végétaux. Oleagineux, 2, 87-92.

RAMOS AYERBE, F. y ORTEGA JURADO, A. 1986. Olive residue composting and land utilization. Proc. Int. Symposium on the Olive by-Products Valorization, 427-433. FAO, UNDP, Sevilla.

RAMOS-CORMENZANA, A. 1986. Physical, chemical, microbiological and biochemical characteristics of vegetation water. Proc. Int. Symp. on Olive by-Products Valorization, 518-525. FAO, UNDF, Sevilla.

RAMOS, C. y VALERA, M. 1990. Nitrate leaching in two irrigated fields in the region of Valencia (Spain). En: Nitrates-Agriculture-Eau (Ed. Calvet, R.), 335-345. Paris.

REGANOLD, J.P. 1988. Comparison of soil properties as influenced by organic and conventional farming systems. American Journal of Alternative Agriculture, 3, 144-155.

REGANOLD, J.P. 1994. Statistical analyses of soil quality. Science, 264, 281-283.

REGANOLD, J.P. 1995. Soil quality and profitability of biodynamic and conventional farming systems: A review. American Journal of Alternative Agriculture, 10, 36-45.

REGANOLD, J.P.; PAPENDICK, R.I y PARR, J.F. 1990. Sustainable

agriculture. Scientific American, 262, 112-120.

REGANOLD, J.P.; PALMER, A.L.; LOCKHART, J.L. y MACGREGOR, A.N. 1993. Soil quality and financial performance of biodynamic and conventional forms in New Zealand. Science, 260, 344-349.

REGANOLD, J.P. y PALMER, A.S. 1995. Significance of gravimetric versus volumetric measurements of soil quality under biodynamic, conventional, and continuous grass management. Journal of Soil and Water Conservation, 50, 298-305.

REINA, G. 1994. Aprovechamiento de Residuos Agroindustriales. Aplicación al Alpechín y Uso como Fertilizante. Master en Gestión Medio Ambiental. Instituto de Investigaciones Ecológicas. Málaga.

RIVERA, E. 1994. Utilización de Compost Urbano como Fertilizante Orgánico. Influencia sobre la Nutrición y Rendimiento de Lolium multiflorum Lam. cv. Tewera (3º año) Proyecto Fin de Carrera. EUITA. Sevilla.

RODRIGO ROMAN, J. 1990. Situación en España. Reunión Internacional sobre Tratamientos de Alpechines. Córdoba.

RODRIGUEZ-GIL, J.A. 1993. Efectos de la Fertilización con Compost de Alpechín y Vinaza de Melaza de Remolacha Concentrada Sobre el Estado Nutricional y Producción del Ryegrass (5º año). Trabajo Fin de Carrera. EUITA. Sevilla.

RUIZ, F. 1993. Influencia del Nivel de Fertilización sobre un Cultivo de Maíz. Tercer Año. Proyecto Fin de Carrera. EUITA. Sevilla.

SAUERBECK, D.R. 1994. Soil Management, Soil Functions and Soil Fertility. Z. Pflanzenernähr. Bodenk, 157, 243-248.

SAIZ-JIMENEZ, C.; DE LEEUW, J.W. y GOMEZ ALARCON, G. 1987. Sludge from the water olive processing industry: a potential soil fertilizer. The Science of Total Environment, 62, 445-452.

SCHAFFERY, A. 1993. Pesticide effects on enzyme activities in the soil ecosystems. En: Soil Biochemistry. (Eds. BOLLAG, J.M. y STOTTZKY, G.). Vol II, 272-340. Marcel Dekker. New York.

SCHOLLENBERGER, C.J. y SIMON, R.H. 1945. Determination of exchangeable capacity and exchangeable bases in soils. Ammonium Acetate method. Soil Sci., 59, 13.

SERRA-WITLING, C.L.; HONET, S. y BARRIUSO, E. 1995. Soil enzymatic response to addition of municipal solid-waste compost. Biol Fertil. Soils, vol 20, 226-236.

- SMITH, G. H.; MIDDLETON, K. R. y EDMONDS, A. S. 1980a. Sodium nutrition of pasture plants I. Translocations of Sodium and Potassium in relation to transpiration rates. *New Phytol.*, 84, 603-612.
- SMITH, G. S.; MIDDLETON, K. R. y EDMONDS, A. S. 1980b. Sodium nutrition of pasture plants II. Effect of Sodium Chloride on growth, chemical composition and the reduction of nitrate nitrogen. *New Phytol.*, 84, 613-622.
- SOUSA, M. 1992. Estudio del vertido de alpechines. I Jornada de Evaluación del Impacto Ambiental en Agricultura. Sevilla.
- TABATABAI, M.A. 1982. Soil Enzymes. En: *Methods of Soil Analysis, part. 2. Chemical and Microbiological Properties* (Ed. A.L. Page, R.H. Miller y D.R. Keeney). ASA-SSSA. Agronomy nº9, 903-947. Madison, Wisconsin.
- THOSSTRUP, P. 1988. Evaluation of composting systems concerning engineering, environmental and economy. En: *Compost Processes in Waste Management* (Eds. Bidlingmaier, W. y L'Hermite, P.). Proc. of a workshop, 151-178. Monastery of Neresheim, Alemania.
- TOMATI, U. y GALLI, E. 1992. The fertilizing value of waste waters from the olive processing industry. En: *Humus, its Structure and Role in Agriculture and Environment* (Ed. Kubat, J.), 117-126. Elsevier Sci. Pub. Londres.
- TOMATI, U.; GALLI, E.; FIORELLI, F. y PASETTI, L. 1995. Fertilizers from olive mill wastewater composting. *Int. Cong. on Olive oil Processes and by-Products Recycling. Libro de Abstracts*, 28, Granada.
- WALKLEY, A. y BLACK, J.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.
- WALLACE, A. y WALLACE, G.A., 1983. Zinc chelates inhibited uptake of copper and manganese or is it chelating agent inhibition? Differential zinc accumulation in primary leaves. *J. Plant Nutr.*, 6, 559-562.
- WALWORTH, J.L y SUMNER, M.E. 1987. The Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS). En: *Advances in Soil Science* (Ed. Stewart, B.A.), vol 6, 149-188. Springer-Verlag, New York.
- WATANABE, F.S. y OLSEN, S.R. 1965. Test of an ascorbic acid method for determining phosphorus in water and bicarbonate extracts from soil. *Soil Sci. Soc. Proc.*, 677-678.
- WENDT, C.W.; ONKEN, A.B. y WILKE, O.C., 1976. Effects of irrigation methods on ground-water pollution by nitrates and other solutes. EPA-600/2-76-291. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C.