

# INFLUENCIA DE LA LLUVIA ÁCIDA SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO Y EL DESARROLLO VEGETAL (MODELO EXPERIMENTAL SOBRE CAMBISOL DÍSTRICO Y CAMBISOL CALCÁRICO)

MARÍA TERESA DE LA CRUZ\* Y MARÍA AMPARO CRESPO

## RESUMEN

Este trabajo supone una contribución al conocimiento sobre el comportamiento del suelo frente al fenómeno de la lluvia ácida. El objeto fundamental es estudiar las modificaciones que se producen en el suelo al percolar soluciones ácidas diluidas cuyos componentes mayoritarios corresponden a los que causan la lluvia ácida. El estudio se plantea mediante un modelo experimental sobre dos tipos de suelos de características diferentes y utilizando como cubierta vegetal la gramínea *Cynodon dactylon*. Aparecen diferencias significativas debidas al tratamiento con solución ácida en algunas propiedades del suelo como: conductividad, contenido en arcilla, contenido en arcilla libre, estabilidad estructural y disolución de carbonatos, causando un aumento en el calcio de cambio. La cubierta vegetal también se ve afectada, apareciendo diferencias significativas en el área y masa foliar y en el contenido en calcio foliar.

**Palabras clave:** Lluvia ácida. Modelo experimental. Suelos.

## SUMMARY

This study contributes to the knowledge of soil behavior under the influence of acid rain. The fundamental objective is the analysis of the modifications that are produced in the soil when that soil is percolated with acid solutions which major components are those that cause acid rain. The study's experimental model uses two types of soil, each with different characteristics and the chosen vegetation is the grass type *Cynodon dactylon*. The soils treated with acid rain shows significant differences in conductivity, clay content, free-clay content, structural stability and carbonated solutions causing an increase in calcium change. The chosen vegetation is also affected showing significant differences in the areas of foliage mass and size, and in the amount of calcium in the foliage.

**Key words:** Acid rain. Experimental model. Soils.

## INTRODUCCIÓN

La obtención de energía es, sin duda, una de las principales fuentes de contaminación. El elevado incremento de energía (carbón y fuel) experimen-

tado en los últimos 20 años a escala mundial, justifica el marcado aumento de emisiones de  $\text{SO}_2$  a la atmósfera, procedentes de la combustión de carbones en su mayoría ricos en azufre. Los importantes daños que provocaron las lluvias áci-

\* Dpto. Edafología. Facultad de Farmacia. Universidad Complutense de Madrid. 28040 Madrid.

Recibido: 13/07/00.

Aceptado: 15/09/00.

das sobre los bosques y peces en diferentes lugares del hemisferio norte, en la década de los setenta, generaron una fuerte alarma social y llevaron a las primeras medidas políticas de gestión ambiental, enfocadas a la protección del aire y el agua.

El interés por el suelo, en sentido específico, es bastante posterior al del aire y el agua, y aún hoy está muy poco desarrollado desde el punto de vista normativo. Antes de 1970, el suelo era considerado como un sistema con una capacidad de autodepuración casi infinita, debido a la escasa o nula percepción sensorial de sus cambios. En 1992, el Consejo de Europa reconoce, en la carta europea de suelos, la necesidad de protección de este recurso «no renovable». No obstante, hasta hace unos 15 años, este sistema ha sido considerado sólo de forma indirecta a través de las políticas de protección del aire y el agua (CALVO DE ANTA, 1997).

Sin embargo, es necesario tener en cuenta que el suelo constituye la primera barrera que ha de atravesar el agua en su viaje hacia los acuíferos y de estos hacia el cauce de los ríos, manantiales y pozos de abastecimiento, barrera que no ha de entenderse únicamente como un obstáculo físico, sino como un sistema complejo en el cual se producen, de forma simultánea y profundamente interrelacionados, procesos físicos, químicos y biológicos, que afectan al transporte y sorción (adsorción y absorción) de numerosas sustancias. MACÍAS (1993) define como suelo contaminado aquél que ha superado su capacidad de amortiguación para una o varias sustancias y, como consecuencia, pasa de actuar como un sistema protector a ser una causa de problemas para el agua, la atmósfera y/o los organismos.

Puesto que el suelo tiene distintas y complejas funciones, una evaluación cuantitativa de su calidad exigiría considerar un amplio número de criterios, que no son de aplicabilidad general. Nos encontramos con que la falta de reglamentación para la protección del suelo, tanto a nivel local como comunitario, hace necesario el desarrollo de estudios y estrategias que permita el desarrollo de una reglamentación lo suficientemente sencilla para ser aplicable y lo suficiente mente amplia para que pueda adaptarse a distintas situaciones.

Este trabajo pretende contribuir al conocimiento sobre el comportamiento del suelo frente al fenómeno de la lluvia ácida, cuyo impacto provoca gran variabilidad y complejidad en los sistemas naturales, y cuyos efectos se han puesto de manifiesto sobre todo en las masas forestales y en las variaciones atmosféricas (COLLING, 1989; HARRISON, 1990), pero han sido escasos los trabajos realizados para conocer las variaciones que afectan a los suelos. El objeto fundamental es estudiar las modificaciones que se producen en el suelo al percolar soluciones ácidas diluidas cuyos componentes mayoritarios corresponden a los que causan la lluvia ácida. Por lluvia ácida hemos de entender una deposición líquida con pH menor de 5,6; este límite se establece al admitir que la concentración media y natural de dióxido de carbono es 340 ppm, que corresponde a un pH 5,6 a la temperatura de 15 °C para la lluvia no contaminada (SÁNCHEZ, 1997).

Las precipitaciones ácidas pueden producirse lejos de los focos de contaminación, asociadas a fenómenos de transporte fronterizo, por lo que sus efectos pueden quedar ocultos en las proximidades de los focos de contaminación. Las sustancias acidificantes al depositarse en el suelo tienden a generar soluciones diluidas ácidas que, al percolar, originan cambios sustanciales en la geoquímica del medio edáfico. El suelo tiene una determinada capacidad de neutralización, derivada del complejo de cambio y de la alteración mineral, si ésta es insuficiente para suministrar la demanda de cationes básicos, entonces el suelo sufre un proceso de acidificación (JIMÉNEZ BALLESTA y col. 1994). Por otra parte, el comportamiento del suelo va a ser muy diferente en función del tipo de suelo y las condiciones reinantes.

El trabajo se plantea como un modelo experimental sobre dos tipos de suelos de características diferentes en cuanto a textura, pH, contenido en carbonatos, etcétera.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Los suelos escogidos para este estudio corresponden a un Cambisol dístico (MA) desarrollado sobre arenas graníticas y a un Cambisol calcárico

- Riego con una solución nutritiva (S) que servirá como tratamiento de referencia. Se utilizó la solución nutritiva indicada por Dutt y Bergman (1966) que contiene nitratos y amonio como aporte nitrogenado y ácido molibdico como fuente de molibdeno. Dicha solución está indicada para sustratos inertes por lo que se diluyó al 50% para aplicarla a suelos naturales.
- Simulación de lluvia ácida (A): Se realizan riegos con una solución preparada a partir de la anterior, acidificada con ácido nítrico 0,1N y ácido sulfúrico 0,01N, por ser éstos los constituyentes habituales de las precipitaciones ácidas (HERNÁNDEZ y col. 1994), resultando el pH = 4.

La frecuencia e intensidad de los riegos se establece en función de las necesidades del cultivo, tratando de mantener las macetas con humedad y a temperatura ambiente, con objeto de simular las condiciones ambientales naturales, pero evitando la precipitación natural, de forma que los percolados obtenidos se encuentren influidos por los riegos y la interacción de éstos con el suelo. Los percolados se recogen sistemáticamente a la hora de haber realizado el riego, en frascos de vidrio, anotando el volumen de percolado obtenido, añadiendo en el mismo frasco, los recogidos durante un mes (muestras compuestas), periodo establecido para su análisis.

El estudio de la variación temporal de los percolados (composición iónica) se lleva a cabo durante 12 meses (de marzo a febrero), transcurridos los cuales se vacían las macetas y, el suelo contenido en ellas, se separa en dos horizontes: un horizonte organomineral (A) y un horizonte mineral (B). Durante este tiempo se llevó a cabo el seguimiento del ciclo vegetativo de la cubierta vegetal (*Cynodon dactylon*) desde su siembra (3 de marzo). A finales de septiembre (6.º mes) se segaron las plantas, dejándolas a una altura de aproximadamente 1 cm, de modo que pudiesen soportar mejor los rigores del invierno. Las hojas cortadas se someten al estudio químico de macronutrientes ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{K}^+$ ) y a un estudio morfométrico (área y longitud), repitiéndose los análisis al completarse el año. En los horizontes del suelo se realizan las siguientes determinaciones analíticas: pH, conductividad, capacidad de intercambio

catiónico, bases de cambio, grado de saturación, contenido en fosfatos y carbonatos, análisis granulométrico, arcilla libre y estabilidad estructural, contenido en carbono orgánico y nitrógeno total.

Una vez obtenidos los resultados analíticos en los percolados, suelos y cubierta vegetal, se procedió al tratamiento estadístico de los mismos aplicando el análisis de varianza ANOVA, que nos permite apreciar si existen diferencias significativas, lo que se pone de manifiesto cuando  $P < 0,05$  para un nivel de confianza del 95%. En caso afirmativo se aplica el test de rangos múltiples (test de Duncan), que compara medias y establece grupos estadísticamente homogéneos. Solo se presentarán las tablas estadísticas que muestran diferencias significativas; los resultados del ANOVA se presentan en una tabla donde figuran:

SC = suma de cuadrados. Estimación de la varianza dentro de un grupo

Fs = cociente de varianzas muestrales

gl = grados de libertad

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en los percolados han sido presentados por CRESPO y col. (1999), donde se destaca el lavado preferencial que sufren los cationes divalentes en el tratamiento ácido.

### Suelos

La tabla 3 recoge los valores medios de los datos obtenidos en los suelos sometidos a tratamiento de referencia (S) y acidificante (A).

En ambos suelos el pH del horizonte organomineral (A) es menor debido a la influencia de los compuestos orgánicos, no existen diferencias significativas debidas al tratamiento (tabla 4), probablemente porque el tiempo transcurrido (un año) no ha sido suficiente para agotar el poder amortiguador del suelo. Respecto a la conductividad eléctrica, ambos suelos tienen un comportamiento similar, siendo notablemente superior en el horizonte organomineral ya que la zona superficial está sometida a mayor evaporación. En cuanto a la influencia del tratamiento (tabla

TABLE 3  
VALORES MEDIOS DE LAS VARIABLES ANALIZADAS EN LAS MUESTRAS DE SUELOS.  
[HALF-AMOUNT OF ANALIZED VARIABLES IN THE SAMPLES OF SOILS]

	MA-S(A)	MA-S(B)	MA-A(A)	MA-A(B)	MB-S(A)	MB-S(B)	MB-A(A)	MB-A(B)
pH	5,78	6,46	5,62	6,66	6,88	7,34	6,98	7,80
CE (dS/m)	3,69	0,14	1,92	0,10	4,76	0,55	2,35	0,37
%C	2,96	-	3,57	-	2,55	-	2,33	-
%N	0,35	-	0,29	-	0,33	-	0,31	-
% CaCO <sub>3</sub>	-	-	-	-	52,43	54,35	50,51	52,37
%Arcilla	3,89	-	4,80	-	21,68	-	38,46	-
%Arcilla Libre	1,66	-	1,34	-	3,34	-	3,30	-
Grado de Estabilidad	53,23	-	72,00	-	85,83	-	90,57	-
CIC (cmol/kg)	9,15	9,09	9,21	8,65	17,50	20,12	20,10	17,73
Ca <sup>2+</sup> (cmol/kg)	13,22	3,14	9,46	0,78	51,82	78,79	176,80	54,10
Mg <sup>2+</sup> (cmol/kg)	2,38	0,44	2,18	0,51	13,11	9,26	11,84	9,44
Na <sup>+</sup> (cmol/kg)	0,28	0,27	0	0,52	0,26	0,52	1,64	0,98
K <sup>+</sup> (cmol/kg)	2,80	0,69	1,85	0,98	3,44	2,13	1,85	3,05

TABLE 4  
ANOVA VARIABLE pH.  
[pH ANOVA]

Fuente de varianza	S.C	g.l.	Fs	P(Fs≥F)
Suelo	21.3	1	87.6	0.0001
Tratamiento	1.05	1	2.17	0.1240
Suelo-tratamiento	0.33	1	0.68	0.5122

TABLE 5  
ANOVA VARIABLE CONDUCTIVIDAD.  
[CONDUCTIVITY ANOVA]

Fuente de varianza	S.C	g.l.	Fs	P(Fs≥F)
Horizonte	156.4	1	273.78	0.0001
Tratamiento	17.54	1	15.35	0.0001
Horizonte-tratamiento	13.28	1	11.63	0.0833

Test de Duncan variable Conductividad  
(factores Horizonte y Tratamiento)

Grupo de Duncan	Media	N	Horizonte
C	3.566	20	H. organomin
D	0.337	20	H. mineral

Grupo de Duncan	Media	N	Tratamiento
C	2.287	20	T. referencia
D	1.188	20	T. acidificante

5), resalta el descenso significativo de la conductividad en el tratamiento acidificante lo que puede estar en relación con un aumento de los iones

en los percolados obtenidos, lo que provoca la pérdida de éstos en el suelo.

El contenido en carbono y nitrógeno del horizonte organomineral no se ve afectado significativamente por el tratamiento (tabla 6), sin embargo en el Cambisol dístico aparece un incremento de carbono orgánico en el tratamiento acidificante que puede interpretarse como una ralentización de los procesos de mineralización.

La importancia de la estabilidad estructural de los agregados del horizonte superficial se debe a que es la capa que limita el intercambio agua-atmósfera y es, además, la parte del suelo que está sometida continuamente a la agresividad de la lluvia y a las prácticas de manejo (RAMOS y NACCI,1997), es por ello que en el horizonte organomineral se estudia el grado de estabilidad mediante la relación existente entre el contenido en arcilla (fracción obtenida previa dispersión de los agregados) y el contenido en

TABLE 6  
ANOVA VARIABLE %C.  
[%C ANOVA]

Fuente de varianza	S.C	g.l.	Fs	P(Fs≥F)
Suelo	5.63	1	9.38	0.0053
Tratamiento	2.63	1	2.19	0.1337
Suelo-tratamiento	0.52	1	0.43	0.6528

arcilla libre (fracción obtenida sin dispersión previa). El análisis estadístico nos confirma la existencia de diferencias significativas debidas al tipo de suelo y al tratamiento recibido (tabla 7). La influencia del tipo de suelo era de esperar ya que se trata de dos tipos de suelos de texturas muy diferentes: textura arenosa en el Cambisol dístico y textura franco-arcillosa en el Cambisol calcárico, la influencia del tratamiento acidificante produce un aumento significativo en el grado de estabilidad de los agregados que se explica por el aumento de la alteración que provoca este tratamiento, movilizandando parte del calcio en el Cambisol calcárico (que se manifiesta en el menor contenido en carbonato cálcico) y probablemente en el Cambisol dístico la floculación de la arcilla se debe a los iones aluminio, liberados en la alteración de minerales aluminosilicatos.

Respecto al complejo de cambio, las diferencias significativas se deben al tipo de suelo (tabla 8), siendo la CIC más elevada en el Cambisol calcárico debido a su mayor contenido en arcilla, pero el tratamiento ácido no influye. Sin embargo sí se aprecian diferencias significativas debidas al tratamiento en el contenido en calcio de cambio (tabla 9). En el Cambisol calcárico se produce un incremento del calcio en el tratamiento ácido que se debe a la disolución de los carbonatos. El resto de los iones no presentan diferencias significativas debidas al tratamiento.

TABLA 7  
ANOVA VARIABLE ESTABILIDAD ESTRUCTURAL  
[STRUCTURE STABILITY ANOVA]

Fuente de varianza	S.C	g.l.	Fs	P(Fs≥F)
Suelo	8008.23	1	69.61	0.0001
Tratamiento	1543.12	1	6.71	0.0049
Suelo-tratamiento	1000.14	1	4.35	0.0245

Test de Duncan variable Estabilidad estructural  
(factores Suelo y Tratamiento)

Grupo de Duncan	Media	N	Suelo
C	87.979	10	C. calcárico
D	55.303	10	C. dístico

Grupo de Duncan	Media	N	Tratamiento
C	81.288	10	T. acidificante
D	69.530	10	T. referencia

## Cubierta vegetal

En la tabla 10 se expresan los resultados medios obtenidos en los análisis de la cubierta vegetal en el primer y segundo ciclo vegetativo.

La nascencia, tiempo transcurrido desde la siembra hasta la aparición de la primera planta (Figura 1) se ve afectada por el tipo de suelo ya que se trata de suelos de texturas muy diferentes, sin embargo no aparecen diferencias significativas respecto al tratamiento aplicado. En el cambisol calcárico las plantas presentan un periodo de nascencia más largo ya que la textura arcillosa ofrece resistencia a la planta que emerge (LOPES y col. 1997).

TABLA 8  
ANOVA VARIABLE CIC.  
[CIC ANOVA]

Fuente de varianza	S.C	g.l.	Fs	P(Fs≥F)
Suelo	1400.41	1	255.78	0.0001
Tratamiento	8.276	1	0.76	0.4745
Suelo-tratamiento	6.746	1	0.62	0.5438

Test de Duncan variable CIC (factor suelo)

Grupo de Duncan	Media	N	Suelo
C	18.899	20	C. calcárico
D	9.419	20	C. dístico

TABLA 9  
ANOVA VARIABLE CALCIO.  
[CALCIO ANOVA]

Fuente de varianza	S.C	g.l.	Fs	P(Fs≥F)
Suelo	70860.6	1	68.8	0.0001
Tratamiento	10274.4	1	4.99	0.0103
Suelo-tratamiento	13811.5	1	6.70	0.0025

Test de Duncan variable Calcio  
(factores suelo y tratamiento)

Grupo de Duncan	Media	N	Suelo
C	76.606	20	C. calcárico
D	7.838	20	C. dístico

Grupo de Duncan	Media	N	Tratamiento
C	60.33	20	T. acidificante
D	36.74	20	T. referencia

TABLA 10  
VALORES MEDIOS DE LAS VARIABLES DE LA CUBIERTA VEGETAL.  
[HALF-AMOUNT OF THE CHOSEN VEGETATION VARIABLES]

Primer ciclo vegetativo						
	Área (cm <sup>2</sup> )	Longitud (cm)	Peso (g)	% Calcio	% Magnesio	% Potasio
MA-S	26,47	64,65	7,69	1,31	0,45	2,30
MA-A	11,21	36,46	5,84	1,02	0,35	1,77
MB-S	46,43	67,10	36,18	1,26	0,45	1,79
MB-A	23,47	47,24	18,28	0,76	0,38	2,14
Segundo ciclo vegetativo						
	Área (cm <sup>2</sup> )	Longitud (cm)	% Calcio	% Magnesio	% Potasio	
MA-S	4,23	7,23	4,95	0,84	1,43	
MA-A	4,34	9,31	3,40	0,78	0,94	
MB-S	14,55	12,24	1,63	0,59	0,94	
MB-A	14,68	14,00	3,46	0,76	0,63	

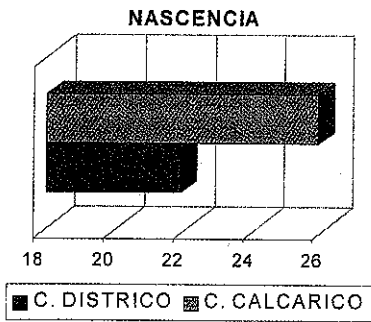


Fig. 1. Nascencia. [Germination.]

Transcurridos seis meses se segó la cubierta vegetal, coincidiendo con el final del primer ciclo vegetativo, y se pesó la masa vegetal obtenida. Tanto el suelo como el tratamiento influyen significativamente en el desarrollo vegetal (tabla 11); en ambos tipos de suelo se produce una disminución de la producción en el tratamiento ácido probablemente debido a que el lavado intenso de cationes, en el Cambisol dístico, disminuye el aporte de macronutrientes a las plantas y la movilización de altos contenidos de calcio, en el Cambisol calcárico, dificulta la absorción de potasio.

En el área foliar se aprecia, en ambos suelos, que el tratamiento ácido ocasiona plantas con menor superficie foliar, sin embargo en el Cambisol

TABLA 11  
ANOVA VARIABLE PESO.  
[WEIGHT ANOVA]

Fuente de varianza	S.C	g.l.	F <sub>s</sub>	P(F <sub>s</sub> ≥F)
Suelo	2218.9	1	53.96	0.0001
Tratamiento	391.3	1	4.76	0.0219
Suelo-tratamiento	275.9	1	3.36	0.0577

Test de Duncan variable peso  
(factores suelo-tratamiento)

Grupo de Duncan	Media	N	Suelo
C	26.463	10	C. calcárico
D	7.233	10	C. dístico
Grupo de Duncan	Media	N	Tratamiento
C	21.940	10	T. acidificante
D	12.064	10	T. referencia

calcárico las plantas presentan mayor área que en el Cambisol dístico debido a que este suelo, con mayor riqueza en coloides, tiene mayor capacidad de amortiguación y retiene mejor los elementos nutritivos (tabla 12). Esto repercute también en la mayor longitud de las plantas sobre este tipo de suelo, sin embargo esta variable no presenta diferencias significativas debidas al tratamiento (tabla 14). En el segundo ciclo vegetativo, las diferencias significativas se deben al tipo de suelo pero las diferencias respecto al tratamiento parecen deberse al azar (tabla 13).

TABLA 12  
ANOVA VARIABLE ÁREA FOLIAR  
1.º CICLO VEGETATIVO.  
[LEAF AREA ANOVA (1.º VEGETATIVE CYCLE)]

Fuente de varianza	S.C	g.l.	Fs	P(Fs≥F)
Suelo	1256.5	1	8.74	0.0085
Tratamiento	1719.9	1	5.98	0.0102
Suelo-tratamiento	91.4	1	0.32	0.7317

Test de Duncan variable Área 1.º ciclo vegetativo  
(factores suelo y tratamiento)

Grupo de Duncan	Media	N	Suelo
C	31.807	10	C. calcárico
D	17.336	10	C. dístrico

Grupo de Duncan	Media	N	Tratamiento
C	36.451	10	T. referencia
D	17.345	10	T. acidificante

TABLA 13  
ANOVA VARIABLE ÁREA 2.º CICLO VEGETATIVO.  
[LEAF AREA ANOVA (2.º VEGETATIVE CYCLE)]

Fuente de varianza	S.C	g.l.	Fs	P(Fs≥F)
Suelo	284.48	1	6.08	0.0239
Tratamiento	58.86	1	0.63	0.5443
Suelo-tratamiento	142.24	1	1.52	0.2454

Test de Duncan variable Área 2.º ciclo vegetativo  
(factor suelo)

Grupo de Duncan	Media	N	Suelo
C	11.787	10	C. calcárico
D	4.901	10	C. dístrico

TABLA 14  
ANOVA VARIABLE LONGITUD  
2.º CICLO VEGETATIVO.  
[LEAF LENGTH ANOVA (2.º VEGETATIVE CYCLE)]

Fuente de varianza	S.C	g.l.	Fs	P(Fs≥F)
Suelo	135.04	1	5.92	0.0256
Tratamiento	19.49	1	0.43	0.6585
Suelo-tratamiento	0.24	1	0.01	0.9947

Test de Duncan variable (factor suelo)

Grupo de Duncan	Media	N	Suelo
C	12.755	10	C. calcárico
D	8.011	10	C. dístrico

El calcio foliar varía en ambos ciclos vegetativos, en el primer ciclo las diferencias significativas no se deben al tipo de suelo pero sí influye el tratamiento (tabla 15), los suelos sometidos a tratamiento ácido presentan una importante disminución en el contenido en calcio foliar debido al lavado preferencial que sufre este elemento, detectándose su aumento en los percolados del suelo. En el segundo ciclo, en las plantas desarrolladas sobre el Cambisol dístrico aumenta significativamente el calcio foliar (tabla 16). Las variaciones en el magnesio y potasio foliar quedarían atribuidas al azar.

TABLA 15  
ANOVA VARIABLE CALCIO 1.º CICLO VEGETATIVO.  
[LEAF CALCIO ANOVA (1.º VEGETATIVE CYCLE)]

Fuente de varianza	S.C	g.l.	Fs	P(Fs≥F)
Suelo	0.05	1	0.25	0.6201
Tratamiento	2.79	1	6.56	0.0271
Suelo-tratamiento	0.08	1	0.20	0.8179

Test de Duncan variable calcio 1.º ciclo vegetativo  
(factor tratamiento)

Grupo de Duncan	Media	N	Suelo
C	1.286	10	T. referencia
D	0.895	10	T. acidificante

TABLA 16  
ANOVA VARIABLE CALCIO 2.º CICLO VEGETATIVO.  
[LEAF CALCIO ANOVA (2.º VEGETATIVE CYCLE)]

Fuente de varianza	S.C	g.l.	Fs	P(Fs≥F)
Suelo	4.73	1	4.97	0.0387
Tratamiento	0.87	1	0.46	0.6403
Suelo-tratamiento	17.99	1	9.45	0.0016

Test de Duncan variable calcio 2.º ciclo vegetativo  
(factor suelo)

Grupo de Duncan	Media	N	Suelo
C	3.935	10	C. dístrico
D	3.047	10	C. calcárico

TABLA 1  
DATOS ANALÍTICOS DE LOS SUELOS.  
[ANALYTIC DATA OF SOILS]

Suelo	Horiz	pH	%C	%N	C/N	%Co <sub>3</sub> Ca	Textura	S	CIC	V (%)
MA	Ah	5,8	3,91	0,36	10,86	—	Arenosa	5,67	11,92	48
	BA	5,9	1,34	0,22	6,09	—	Arenosa	3,22	6,80	47
MB	Ah	7,8	3,03	0,30	10,10	74	Franco-arci	29,99	19,92	Sat.
	AB	8,0	1,43	0,28	5,28	66	Franca	19,73	19,68	Sat.
	BC	8,1	0,97	0,17	4,85	72	Arcillosa	31,22	20,82	Sat.

S = Suma de bases, CIC = Capacidad de Intercambio Catiónico (en cmol/Kg), V = grado de saturación.

(MB) desarrollado sobre margas cuyos datos analíticos se presentan en la tabla 1.

Como cubierta vegetal se eligió la gramínea praterense *Cynodon dactylon* (Bermudagrass Batlle S. A.), por ser una planta no muy exigente en riego, óptima para zonas secas y calurosas. Presenta dos ciclos vegetativos en el año y raíces fasciculadas de desarrollo preferentemente superficial, con capacidad de prevenir la erosión (LIU y col. 1997).

El análisis de campo y la toma de muestras de los suelos se realizó según las normas de la F.A.O. (1977). En la fracción tierra fina se realizaron las siguientes determinaciones: pH, conductividad, nitrógeno total, arcilla libre y estabilidad estructural, según I.S.R.I.C. (1993), análisis granulométrico por el método internacional de la pipeta, carbono orgánico según WALKEY & BLACK (1974), capacidad total de cambio (CIC) por el método del acetato amónico, las bases de cambio Ca<sup>2+</sup> y Mg<sup>2+</sup> por espectrofotometría de absorción atómica y Na<sup>+</sup> y K<sup>+</sup> por fotometría de llama y el contenido en carbonato cálcico por el método gasométrico (M.A.P.A. 1986).

La toma de muestras de la cubierta vegetal se realizó siguiendo las recomendaciones de CHAP-

MAN y PARKER (1973). Para el análisis químico se procedió al secado de las muestras en estufa y posterior acenización en seco (incineración a 400 °C) hasta pesada constante, solubilizándose las cenizas en una mezcla de HCl:NO<sub>3</sub> 1:1. La determinación de calcio y magnesio se realiza por espectrofotometría de absorción atómica y el potasio por fotometría de llama. Asimismo se realizó el análisis morfométrico de las plantas mediante un analizador de imagen Delta-T y aplicando el programa informático DIAS.

A los resultados analíticos se les aplica el análisis estadístico ANOVA que nos permite apreciar si existen diferencias significativas.

## DISEÑO DEL MODELO EXPERIMENTAL

Se tomaron diez muestras inalteradas de los 20 cm superficiales de cada tipo de suelo y se colocaron en macetas de plástico de 20 cm de diámetro y 20 cm de altura. Se sembró sobre las mismas, humedeciendo el suelo hasta su capacidad de campo, *Cynodon dactylon* a razón de 0,5 g de semilla/maceta, con el fin de proporcionar a las muestras una cubierta vegetal. Dichas macetas fueron sometidas a dos tratamientos, 10 macetas con solución de referencia y 10 con riego ácido (tabla 2):

TABLA 2  
CARACTERÍSTICAS DE LAS SOLUCIONES DE RIEGO. [CHARACTERISTICS OF SOLUTION IRRIGATION]

Solución	pH	Conductividad (mS/cm)	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>2+</sup>	N	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>
S	7	1,04	18,03	74	84	20	8,56	194	95
A	4	1,06	18,03	74	84	20	10,46	479	95

Aniones y cationes en mg/L.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CALVO DE ANTA, R. 1997. El conocimiento del suelo como recurso básico en la gestión de suelos contaminados. Ponencias del 50 Ann. S.E.C.S. Madrid: 211-239.
- CHAPMAN, H.D. & PARKER, F. 1973. Métodos de análisis de suelos, plantas y aguas. Editorial Trillas. México.
- CRESPO, M.A. & DE LA CRUZ, M.T. 1999. Comportamiento de dos tipos de suelos (Cambisol dístico y calcárico) frente al riego con agua enriquecida en tensoactivos y simulación de lluvia ácida. Modelo experimental. V Congreso Internacional de Química de la ANQUE. Resúmenes sólidos, líquidos y gaseosos. Vol. I: 35-44.
- COLLING, J.L. 1989. Rain and Snow Acidity and Air Mass Trayectory in Eastern France. In: Atmospheric Environment Vol. 23 n.º 7: 1487-1498.
- DUTT, J. & BERGMAN, E. 1966. Peun Stare Agri. Ext. Ser. Veg. Crops 2.
- F.A.O. 1977. Guías para la descripción de perfiles. Roma.
- HARRISON, R.M. 1990. Measurements of Atmospheric HNO<sub>3</sub>, HCl, and associated Species on a Small Network in Eastern England. In: Atmospheric Environment, vol. 24 n.º 2: 959-966.
- HERNÁNDEZ, E., PIORNO, J. DEL TESTO, M.T. & DÍAZ, J. 1994. Lluvia ácida sobre España. Invest. y Ci. Febrero/94.
- I.S.R.I.C. 1993. Procedures for Soil Analysis. Wageningen.
- JIMÉNEZ BALLESTA, R. & SÁNCHEZ CABRERO, R. 1995. Cargas críticas para la acidez de algunos suelos bajo encinar. Edafología. Rev. de la S.E.C.S. Vol. 1 n.º 1: 35-41.
- LOPES, P.R., GISBERT, J.M. GÓMEZ, L.D. & PARAIBA, L. 1997. Efecto de dosis de polímero maléico en la formación de costra superficial y nacimiento del algodón. Edafología. Rev. S.E.C.S. n.º 2: 179-184.
- LUI, F. MITCHELL, C.C. HILL, D.T. ODOM, J.W. & ROCHESTER, E.W. 1997. Phosphorus recovery in surface runoff from swine lagoon effluent by overland flow. Journal of Environmental Quality 26 (4): 995-1001.
- MACÍAS, F. 1993. Contaminación de suelos: Algunos hechos y perspectivas. V Reunión Nacional de Geología ambiental y Ordenación del territorio. Editor Roque Ortiz. Murcia: 53-74.
- M.A.P.A. 1986. Métodos oficiales de análisis. Tomo III. Madrid.
- RAMOS, M.C. & NACCI, S. 1997. Estabilidad estructural de agregados superficiales en suelos del Anoia-Penedés (Barcelona) frente al humedecimiento y al impacto de las gotas de lluvia. Edafología n.º 3: 3-12.
- SÁNCHEZ, F. 1997. Curso Agente Vigilancia Ambiental. IMAF.
- WALKEY & BLACK, 1974. A critical examination of rapid method for determining organic carbon in soil science. Soil Sci. 63: 251-254.