

PROPIEDADES GENERALES Y BIOQUÍMICAS DE SUELOS FORESTALES EN ÁREAS SERPENTINIZADAS DE GALICIA^{1/}

Wagner Peña^{2/*}, María del Carmen Leirós de la Peña^{**}, Jorge A. Briceño*

Palabras clave: serpentinita, fertilidad de suelos, indicadores bioquímicos, metales pesados, calidad de suelos.

Keywords: serpentinite, soil fertility, biochemical indicators, heavy metals, soils quality.

Recibido: 30/09/05

Aceptado:15/05/06

RESUMEN

Se analizan los resultados de las propiedades generales (físicas y químicas), del contenido total de metales y de parámetros bioquímicos de 28 suelos desarrollados sobre serpentinita en A Coruña (Galicia, N. O. de España). De las correlaciones entre los parámetros determinados se observó que la causa de una menor fertilidad de estos suelos, en cuanto a materia orgánica, nutrimentos y una baja actividad microbiana y bioquímica, se debe al poco desarrollo de la vegetación y al potencial efecto tóxico que presentan los metales sobre la actividad biológica en el medio. Variaciones en el equilibrio natural pueden modificar el hábitat de la vegetación e incrementar el peligro de extinción de algunas especies, sobre todo los endemismos vegetales que crecen sobre estos suelos.

INTRODUCCIÓN

El uso agrícola y forestal de los suelos es normal en la mayor parte del territorio de la Comunidad Autónoma de Galicia (España), ya que presentan condiciones físicas, químicas y agroclimáticas óptimas. No obstante, existen zonas de la región gallega donde

ABSTRACT

General and biochemical properties of forest soils in serpentine's rocks of Galicia. Soil general properties (physical and chemical), the total content of metals and biochemical parameters are analyzed in 28 soils developed on serpentine's rocks in A Coruña (Galicia, NW Spain). From the correlation among the studied parameters, it is possible to infer that the cause of the low fertility of these soils, regarding soil organic matter, nutrients, low microbial and biochemical activities as reference parameters, is the result of the scarce vegetation and the potential toxicity from metals on the biological activity of the system. Shifts on the natural equilibrium can modify the vegetation habitats and threat some species with extinction, specially plant endemics growing on serpentine soils.

las características del medio hacen imposible este uso y sólo existen algunas plantas capaces de soportar las condiciones adversas, por ejemplo un alto nivel de elementos tóxicos para una vegetación común, tal como ocurre en los suelos sobre serpentinitas (Peña 2004). La serpentinita es el material parental metamórfico y ultrabásico, cuyo mineral principal es la

1/ Parte de la tesis doctoral del primer autor. Departamento Edafología y Química Agrícola de la Universidad de Santiago de Compostela y Laboratorio Bioquímica de Suelos del IIAG-CSIC, España.

2/ Autor para correspondencia. correo electrónico: wpenac@cia.ucr.ac.cr

* Centro de Investigaciones Agronómica, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

** Departamento Edafología y Química Agrícola, Universidad de Santiago de Compostela. España.

serpentina, compuesto generalmente por piroxenos y olivinos, entre otros (Aubouin *et al.* 1981).

A nivel mundial, los suelos desarrollados sobre serpentinitas ocupan aproximadamente un 5%, entre ellos los que más se conocen son los de zonas serpentinizadas de Australia, Zimbabwe, Portugal, California y Cuba (Brooks 1987, Roberts y Proctor 1992). En Costa Rica, este tipo de suelos están localizados generalmente en la Península de Santa Elena (Guanacaste), representados en su mayoría por inceptisoles, aunque han sido muy poco estudiados. Es frecuente que los suelos desarrollados sobre serpentinita llamen la atención por su elevado grado de infertilidad, provocado por la deficiencia de nutrimentos y por el excesivo contenido en metales potencialmente tóxicos, en comparación con los desarrollados sobre otras rocas, lo que limita el desarrollo de la vegetación (Roberts y Proctor 1992). No obstante, en los hábitats serpentinizados no solo se aprecia un escaso crecimiento de la vegetación, sino que además es evidente un desarrollo irregular de la misma, calvas y retazos arbustivos y arbóreos de porte muy desigual son frecuentes, lo que hace a estos suelos fácilmente distinguibles de los suelos limítrofes desarrollados sobre otros materiales geológicos. La heterogeneidad del desarrollo observado en la vegetación puede estar relacionada con la variabilidad de los elementos nutritivos y metales tóxicos como el Ni, Cr, Co y Mn. Estas características físicas y químicas del suelo hacen que el horizonte superficial sea de poco espesor, con poca actividad microbiana y bioquímica (Peña 2004).

Los estudios que caracterizan de forma general a los suelos forestales, cada vez requieren de mayor información para determinar el funcionamiento del ecosistema edáfico; así, las propiedades bioquímicas están adquiriendo mayor importancia en este tipo de investigaciones, ya que son indicadores de la calidad y el equilibrio que existe en el medio (Trasar *et al.* 2000, Leirós *et al.* 2000).

En el marco europeo de un estudio sobre la conservación de la flora endémica y su hábitat, y el diagnóstico de la calidad de suelos a través de parámetros bioquímicos en Galicia, el objetivo del presente trabajo fue analizar la variación de las propiedades químicas y físicas generales, el contenido

total de metales y las propiedades relacionadas con la biomasa microbiana y su actividad metabólica y bioquímica en una serie de suelos naturales, desarrollados sobre serpentinitas, donde habitualmente se encuentran los endemismos más raros y amenazados de la región gallega (Rodríguez *et al.* 1998). Además de las relaciones entre estas propiedades del suelo y la vegetación predominante, estos suelos se compararon con otros de la región gallega desarrollados sobre diferentes materiales geológicos y bajo vegetación clímax de roble Atlántico (*Quercus robur*) (Leirós *et al.* 2000).

MATERIALES Y MÉTODOS

Características del área de estudio

Los suelos estudiados se encuentran a lo largo de 6 km de la zona de Melide (centro de Galicia-España, sureste de la provincia de A Coruña), entre los 42°51'09" N y 08°01'15" O. Se trata de una zona con una climatología húmeda-Atlántica, marcada por sus estaciones anuales, los suelos presentan escasa vegetación, la mayoría están compuestos por plantas xerófitas o matorral de porte bajo (asociaciones *Erico scopariaeae-Ulicetum europaei* y *Sagino merinoi-Plantagnetum radicata*, con abundante *Ulex gallii* y pastizal de *Festuca* sp) y por endemismos que son científicamente especiales, por su rareza, grado de amenaza y poca abundancia en la región gallega (Rodríguez *et al.* 1998, UICN 2001), entre los que se encuentran *Santolina melidensis*, *Armeria merinoi*, *Centaurea janeri* subsp. *gallaecica*, *Sagina merinoi* y *Leucanthemum gallaecicum*. También se encuentran algunas especies de pino silvestre (*Pinus pinaster*, *P. radiata*) y eucalipto de poco desarrollo (*Eucalyptos globulus*).

Toma de muestras

Se tomaron 28 muestras al azar del horizonte superficial (0-20 cm de profundidad), en parcelas registradas y georeferenciadas por el Herbario SANT de la Universidad de Santiago de

Compostela (parcelas de 4 m²), a lo largo de 6 km en la distribución del afloramiento serpentínico de la zona y fueron transportadas en húmedo y a 4 °C a los laboratorios de Bioquímica del Suelo del IIAG-CSIC y del Departamento de Edafología de la Universidad de Santiago de Compostela. Cabe indicar que la mayor parte de la zona se encuentra dentro de los espacios de conservación europea de la Red Ecológica Natura 2000, quedando por fuera taxones de importancia científica sobre el mismo tipo de material geológico (UICN 2001).

Métodos analíticos

Una parte de las muestras se secó al aire y se tamizó por 2 mm. Se determinó el pH en H₂O y en KCl 0,1 N, la granulometría (método internacional), materia orgánica (MO) y N total, P asimilable (Olsen), capacidad de intercambio

catiónico (NH₄OAc 1N, pH 7), bases de cambio y el contenido total de metales (MAPA 1995).

Otra parte de los suelos, se tamizó en húmedo por 4 mm para determinar los parámetros bioquímicos: C-biomasa microbiana (fumigación-extracción), respiración del suelo (incubación estática), mineralización neta del N inorgánico y 4 actividades enzimáticas del suelo (β -D-glucosidasa, fosfomonoesterasa, ureasa y proteasa) (Alef y Nannipieri 1995, García *et al.* 2003).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los terrenos donde se muestrearon los suelos sobre serpentinitas, presentan pendientes entre 1 y 6% y alcanzan altitudes entre 371 y 465 msnm. La textura de la mayoría de los suelos es franca, franco-arcillosa y franco-arenosa, según la granulometría determinada (Cuadro 1).

Cuadro 1. Parámetros físico-químicos de los suelos estudiados y del resto de Galicia.

Parámetro	Suelos sobre serpentinita			Suelos sobre otras rocas*		
	Media	Máximo	Mínimo	Media	Máximo	Mínimo
Arena (%)	44	70	24	52	80	13
Limo (%)	33	56	3	29	60	12
Arcilla (%)	23	36	8	20	31	7
pH en H ₂ O	6,9	7,8	5,75	5,2	6,5	4,0
pH en KCl	5,4	6,4	4,4	3,5	4,1	2,8
Materia Orgánica (%)	7,1	12,8	2,2	18,6	31,6	8,9
N total (%)	0,28	0,40	0,09	0,65	0,99	0,32
C/N	14	21	8	16	22	13
P soluble (mg kg ⁻¹)	2,7	4,5	1,7	20	43	8
C.I.C. (cmol (+) kg ⁻¹)	42,8	75,2	15,7	18,1	28,8	7,7
Mg ²⁺ (cmol (+) kg ⁻¹)	11,9	18,0	1,6	0,5	2,3	0,0
Ca ²⁺ (cmol (+) kg ⁻¹)	1,6	2,8	0,9	0,5	1,8	0,1
Na ⁺ (cmol (+) kg ⁻¹)	1,1	2,2	0,7	0,3	0,9	0,1
K ⁺ (cmol (+) kg ⁻¹)	0,2	0,5	0,1	0,3	0,9	0,0
Ca ²⁺ /Mg ²⁺	0,2	0,7	0,1	1,5	4,6	0,2
V (%)	42	99	8	3	10	1

* Suelos sobre esquistos, granito y anfíbolita (García-Rodeja 1983, Leirós *et al.* 2000).

% C total = materia orgánica / factor 1,724 (MAPA 1995).

Entre otros parámetros generales de los suelos estudiados, lo que más llamó la atención fue el nivel relativamente alto de pH y el desbalance nutricional, sobre todo por el alto contenido de Mg^{2+} , comparado con suelos del resto de Galicia, desarrollados sobre otros materiales geológicos (Leirós *et al.* 2000). Por el contrario, el contenido de MO, N total, P soluble y de K^+ cambiante, fueron más bajos. Posiblemente la baja cantidad de MO y de los macroelementos se deba al poco desarrollo de la vegetación y, consecuentemente, al escaso aporte de restos de material vegetal de estos suelos.

Brooks (1987), señala que es común observar valores altos de pH y de Mg^{2+} en suelos sobre serpentinitas, ya que la composición del suelo está influenciada por la geoquímica y la mineralogía del material de partida. En el complejo de cambio del suelo estudiado, el Mg^{2+} domina totalmente sobre los otros cationes intercambiables, por lo que muestra una relación positiva ($p < 0,01$) con el porcentaje de saturación de bases y negativa con el Ca/Mg ($p < 0,001$). La alta variabilidad de los niveles de Mg^{2+} es común en estos suelos y es mucho más alta que en suelos sobre diferentes materiales geológicos de Galicia (García-Rodeja 1983), debido principalmente a que la serpentina, mineral predominante en estas rocas, contiene altas proporciones de Mg ocupando los huecos octaédricos (Brooks 1987, Aubouin *et al.* 1981).

La naturaleza de la MO en los suelos está estrechamente relacionada con los aportes de los restos vegetales, por lo que el tipo de vegetación influirá sobre la calidad de la MO. Sobre los suelos estudiados se desarrollan plantas de porte bajo, la mayoría es matorral con presencia de pinos y eucaliptos, que son especies con un elevado contenido en compuestos recalcitrantes de tipo fenólico, por lo que son bastante resistentes a la descomposición y darán lugar a una MO poco mineralizable. La cantidad de MO (calculada a partir del contenido en C total: factor 1,724), está positivamente correlacionada con la proporción de limo y negativamente con la de arena ($p < 0,01$), de modo que son menos orgánicos aquellos suelos de textura más gruesa en los que los procesos

de mineralización deben de estar más favorecidos como resultado de una mayor aireación. Los suelos limosos presentarán mayor contenido de MO, como resultado de una menor velocidad de mineralización (Cuadro 2). Así, es importante observar la correlación positiva altamente significativa ($p < 0,001$) entre el contenido de C total de estos y la relación C/N (cantidad-calidad de la MO), que pone de manifiesto la baja velocidad de mineralización existente en los suelos cuya relación C/N es alta. Queda claro que la poca acidez de estos suelos no se debe a la climatología de la zona, sino al material ultrabásico predominante, al poco aporte de MO por las plantas y a la baja mineralización que existe en los suelos.

En cuanto a los metales presentes, el Fe es el elemento metálico mayoritario, con valores de 4,0-6,8% (p/p), seguido del Ni, Mn y Cr, y, en menor proporción, Co, Zn y Cu (Figura 1). De estos metales sólo el Ni y el Co presentan una relación significativa y de forma negativa con la MO; seguramente por el efecto tóxico que pueden provocar sobre el desarrollo de la microbiota y la vegetación. Algunos autores señalan que los niveles altos de estos elementos es la principal causa de la poca fertilidad del suelo desarrollado sobre serpentinita (Brooks 1987).

De las propiedades bioquímicas, se observa una alta variabilidad en casi todos los parámetros, que son mucho más bajos que los encontrados en el resto de Galicia sobre otros materiales. Los valores de biomasa microbiana observados en los suelos estudiados abarcan un rango amplio (Cuadro 3), que va desde valores muy bajos hasta niveles muy elevados; sin embargo, tanto la media como el rango de valores son menores a los de otros suelos de Galicia sobre diferentes materiales geológicos (Leirós *et al.* 2000). Esto indica que en general el desarrollo microbiano es inferior en los suelos sobre serpentinitas que en los suelos forestales de Galicia sobre otros materiales.

Si se considera que la biomasa microbiana es un indicador de la actividad biológica de los suelos, se puede mencionar que los suelos sobre serpentinitas estudiados, disponen en general

Cuadro 2. Matriz de correlaciones entre las propiedades generales de los suelos.

	pH H ₂ O	pH KCl	Limo	Arena	Arcilla	C-total	N-total	C/N	P soluble	Mg ²⁺	Ca ²⁺	CIC	V	Ca/Mg
pH H ₂ O	1													
pH KCl	0,91^a	1												
Limo	-0,36	-0,39^c	1											
Arena	0,17	0,15	-0,82^c	1										
Arcilla	0,33	0,41^c	-0,31	-0,29	1									
C-total	-0,46^c	-0,25	0,48^b	-0,52^b	0,05	1								
N-total	-0,32	-0,18	0,49^b	-0,53^b	0,06	0,89^a	1							
C/N	-0,57^b	-0,36	0,20	-0,21	0,01	0,62^a	0,22	1						
P sol.	0,36	0,23	0,04	-0,01	-0,06	-0,40^c	-0,30	-0,35	1					
Mg ²⁺	0,81^a	0,74^a	-0,11	-0,14	0,44^c	-0,24	-0,16	-0,34	0,37	1				
Ca ²⁺	0,07	0,02	0,23	-0,19	-0,06	-0,05	-0,03	-0,02	0,54^b	0,08	1			
CIC	-0,10	0,02	-0,02	-0,38^c	0,65^a	0,45^c	0,31	0,38^c	-0,48^b	0,03	-0,40^c	1		
V	0,51^b	0,34	0,00	0,18	-0,29	-0,38^c	-0,23	-0,45^c	0,65^a	0,50^b	0,44^c	-0,78^a	1	
Ca/Mg	-0,68^a	-0,64^a	0,20	-0,03	-0,27	0,10	0,00	0,35	-0,15	-0,78^a	0,38^c	-0,13	-0,33	1

^a p < 0,001 ^b p < 0,01 ^c p < 0,05 (n = 28)

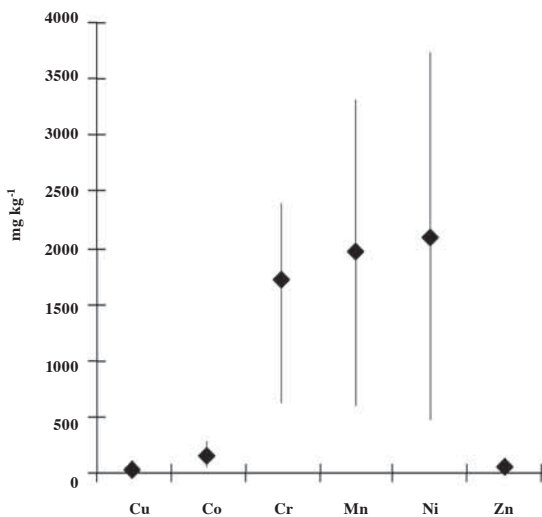


Fig. 1. Contenido total de metales en los suelos sobre serpentinita.

de una baja actividad microbiana, presentando menor desarrollo biológico que otros suelos de la región. Así, los valores de la respiración microbiana (CO₂ emitido), que estima la cantidad de biomasa microbiana que es realmente activa, es mucho menor (< 50%) que lo encontrado en suelos sobre otros materiales geológicos de Galicia. Esto pone de manifiesto una mineralización del C en el sustrato orgánico muy baja. Lo mismo sucede con los procesos de la nitrificación y amonificación; donde se observa que así como en los suelos de Galicia sobre otros materiales geológicos (Leirós *et al.* 2000), el proceso de mineralización del N suele detenerse en la etapa de amonificación, estando menos favorecido el paso de amonio a nitratos, en los suelos aquí estudiados ambos procesos son mucho menos intensos, pero sobre todo la amonificación, de tal manera

Cuadro 3. Comparación de las propiedades bioquímicas de los suelos en Galicia.

Parámetro	Suelos sobre serpentinitas		Suelos del resto de Galicia*	
	Media	Rango	Media	Rango
C-biomasa microbiana ^a	622 ± 308	148 – 1233	781 ± 253	250 – 1483
CO ₂ emitido ^b	1006 ± 563	246 – 2529	2261 ± 704	1232 – 4576
qCO ₂ ^c	2,0 ± 0,9	0,8 – 3,9	3,5 ± 1,3	1,5 – 8,5
Mineralización del N ^d	4,3 ± 2,3	0,6 – 7,8	30,5 ± 14,8	1 – 69
Amonificación (N-NH ₄ ⁺) ^d	1,7 ± 1,1	0,1 – 3,8	22,3 ± 12,2	1 – 59
Nitrificación (N-NO ₃ ⁻) ^d	2,6 ± 1,8	0,1 – 5,8	8,2 ± 10,3	0 – 41
β-D-glucosidasa ^e	1,4 ± 0,6	0,5 – 3,1	1,6 ± 0,9	0,7 – 4,6
Fosfomonoesterasa ^e	3,9 ± 1,6	1,4 – 7,7	6,6 ± 3,3	2,2 – 15,8
Ureasa ^f	7,3 ± 3,7	0,9 – 16,3	16,6 ± 10,6	3,2 – 49,8
Proteasa-BAA ^f	13,1 ± 6,0	2,3 – 26,2	15,3 ± 8,9	2,7 – 34,3

*40 suelos desarrollados sobre diferentes materiales (Leirós *et al.* 2000, Trasar *et al.* 2000).

^a mg kg⁻¹; ^b mg kg⁻¹ 10 días⁻¹; ^c μg C-CO₂ mg⁻¹ C-biom. h⁻¹; ^d mg N kg⁻¹ 10 días⁻¹;

^e μmol p-nitrofenol g⁻¹ h⁻¹; ^f μmol NH₃ g⁻¹ h⁻¹.

que los nitratos son el producto final del proceso en una gran parte de los suelos; esto quizá se deba al carácter más o menos neutro que presentan estos medios, que será más favorable para la nitrificación, a diferencia de lo que ocurre en otros suelos sobre diferentes materiales de la región gallega, que normalmente son de carácter ácido.

En cuanto a la relación existente entre las distintas propiedades bioquímicas, destaca la relación positiva de la biomasa microbiana con todas las enzimas estudiadas (p<0,001), lo cual es lógico ya que los microorganismos dependen de que las actividades enzimáticas liberen nutrientes para poder realizar su actividad metabólica. También el contenido en MO se relaciona positivamente con las actividades enzimáticas; pero, además, se relaciona positiva y muy significativamente (p<0,001) con la biomasa microbiana y con su actividad respiratoria (Figura 2). La relación con la biomasa microbiana (Figura 2a) se debe, por un lado, a que el sustrato orgánico contiene nutrientes que son esenciales para muchos orga-

nismos del suelo, incluyendo los microorganismos y, por otro lado, a que la MO coloidal presenta una gran área superficial a la que se adhieren los microorganismos, existiendo una fuerte interacción entre las comunidades microbianas y la fracción orgánica de los suelos (Tate 2000).

La relación positiva del contenido en MO con el desprendimiento de CO₂ (Figura 2b) es muy lógica, ya que los microorganismos del suelo utilizan los compuestos orgánicos del mismo para obtener energía y nutrientes para su crecimiento y desarrollo. No obstante, el proceso de mineralización neta del N, sólo muestra una relación significativa (p<0,01) con el contenido de N orgánico, que equivale al N total y que es el sustrato de dicho proceso.

Por otra parte, al observar las diferentes relaciones existentes entre los contenidos totales de metales y las propiedades bioquímicas (Cuadro 4), se puede afirmar que existen 2 grupos; un primer grupo (Co, Cr, Mn y Ni) en que se presentan correlaciones negativas con la mayoría de dichas propiedades, y un segundo grupo (Cu, Fe y Zn)

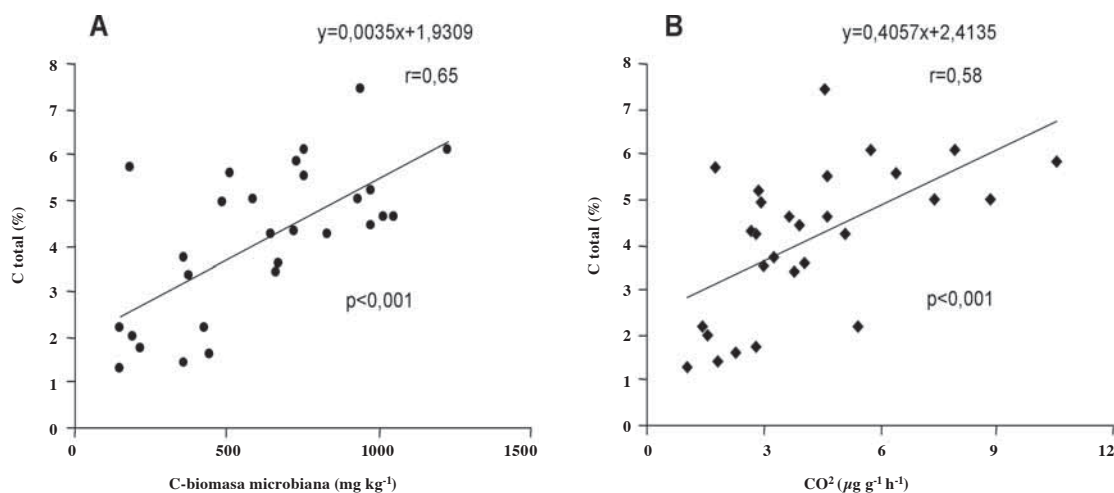


Fig. 2. A. Relación de la biomasa microbiana. B. Actividad respiratoria con la MO de los suelos

Cuadro 4. Relación de los parámetros bioquímicos en los suelos con el contenido total de metales.

	Cu	Co	Cr	Mn	Fe	Ni	Zn
C-biomasa		-0,466*		-0,450*		-0,556**	
CO ₂		-0,524**	-0,539**	-0,572***		-0,484**	
qCO ₂							
N mineraliz.		-0,446*	-0,596***	-0,576***	0,501**		0,470*
N-NH ₄ ⁺	0,453*	-0,452*	-0,680***	-0,527***			
N-NO ₃ ⁻				-0,411*	0,416*		0,405*
β-glucosid.							
Fosfomon.	0,424*	-0,642***	-0,645***	-0,677***		-0,625***	
Ureasa		-0,427*		-0,438*	0,365*		0,483**
Proteasa							

* p<0,05 ** p<0,01 *** p<0,001 (n=28).

que muestra relaciones positivas. Es importante señalar que la fosfomonoesterasa, la mineralización del C y N y, en menor medida, la biomasa microbiana fueron los parámetros bioquímicos más afectados por las cantidades totales de Ni y Cr, lo que sugiere que la presencia de metales en los suelos, a altas concentraciones dificultan el establecimiento de la vegetación y, en consecuencia, la MO de los suelos es escasa, siendo esta la causa principal de que las propiedades bioquímicas sean menores. Con ello, queda patente la

influencia de la composición del suelo, la calidad del sustrato orgánico y la relación que existe entre las características propias del suelo sobre la presencia de plantas en áreas vulnerables.

Por lo tanto, se podría decir que en estos suelos la función productiva está muy escasamente desarrollada y que, desde esta perspectiva, se trataría de suelos con un bajo nivel de calidad. Pero, aunque la función productiva de los suelos es muy importante, no es la única a considerar, ya que, aún sabiendo que tiene mucha relevancia, un

suelo de calidad tiene que ser capaz de mantener una alta productividad, pero causando una mínima distorsión del medio ambiente. Si el interés se centra en la protección medioambiental, un suelo de calidad es aquel que está en equilibrio con los factores del medio ambiente y, por lo tanto, se trata de un suelo climax (Leirós *et al.* 1999). En esta investigación, y como varios autores lo han sugerido en otros tipos de suelo, la mejor forma de medir el funcionamiento del medio edáfico y su relación con la vegetación es a través de las propiedades bioquímicas (Alef y Nannipieri 1995, Leirós *et al.* 1999 y 2000, Tate 2000), ya que de ellas depende la función degradativa de los suelos y, por lo tanto, la dinámica de la MO y de los nutrimentos esenciales.

AGRADECIMIENTOS

Al grupo de investigación en calidad de suelos de la Universidad de Santiago de Compostela: Dr. Fernando Gil-Sotres, Dra. S. Seoane, Dra. M.C. Leirós de la Peña (Dpto. Edafología y Química Agrícola) y Dra. C. Trasar-Cepeda (Bioquímica del Suelo IIAG-CSIC), al Dr. Juan Rodríguez-Oubiña (Dpto. Botánica-USC) y Dra. M. Pilar Alfaro Monge (MINAE-Costa Rica). A la Agencia Española de Cooperación Internacional y al Ministerio de Ciencia y Tecnología de Costa Rica.

LITERATURA CITADA

- ALEF K., NANNIPIERI P. 1995. Methods in applied soil microbiology and biochemistry. Academy. London. 575 p.
- AUBOUIN J., BROUSSE R., LEHMAN J. P. 1981. Tratado de geología. Omega, España. 602 p.
- BROOKS R. 1987. Serpentine and its vegetations: a multidisciplinary approach Dioscorides, Portland, Oregon. p. 32-47.
- DUCHAFOUR Ph. 1984. Edafología: I Edafogénesis y clasificación. Masson ed., Barcelona. 493 p.
- GARCÍA-RODEJA E. 1983. Componentes no cristalinos en suelos de Galicia: distribución, naturaleza y propiedades. Tesis Doctoral, Universidad de Santiago. 300 p.
- GARCÍA C., GIL F., HERNÁNDEZ T., TRASAR C. 2003. Técnicas de análisis de parámetros bioquímicos en suelos: medida de actividades enzimáticas y biomasa microbiana. Mundi-Prensa, Madrid. 371 p.
- LEIRÓS M.C., TRASAR C., SEOANE S., GIL F. 1999. Defining the validity of biochemical index of soil quality. *Biology & Fertility of Soils* 30: 140-146.
- LEIRÓS M.C., TRASAR C., SEOANE S., GIL F. 2000. Biochemical properties of acid soils under climax vegetation (Atlantic Oakwood) in an area of the European temperate-humid zone (Galicia, NW Spain): general parameters. *Soil Biology & Biochemistry* 32: 733-745.
- M.A.P.A. 1995. Métodos oficiales de análisis de suelos y aguas para riego. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid. p 205-285.
- PEÑA W. 2004. Los suelos desarrollados sobre serpentinitas y su relación con la flora endémica. Tesis doctoral, Universidad de Santiago de Compostela, España. 404 p.
- ROBERTS B., PROCTOR J. 1992. The ecology of areas with serpentized rocks. Kluwer, Dordrecht. 427 p.
- RODRÍGUEZ J., ORTIZ S., PULGAR I. 1998. Flora endémica de Galicia. Guía y Vídeo, Ed. GrafiNova. Universidad de Santiago de Compostela, España. 57 p.
- TATE R. L. 2000. Soil microbiology. 2nd ed. John Wiley & Sons, New York. 984 p.
- TRASAR M.C., LEIRÓS M.C., GARCÍA F., GIL F. 2000. Propiedades bioquímicas de los suelos gallegos: su utilización como indicadores de la calidad del suelo. pp. 147-273. *In*: C. García y M. T. Hernández (eds). Investigación y perspectivas de la enzimología de suelos en España. CSIC, Murcia.
- UICN. 2001. Categorías y criterios de la Lista Roja de la UICN: Versión 3.1. Comisión de Supervivencia de Especies de la UICN. Gland, Suiza y Cambridge, U.K. 33 p.