

## **DISTRIBUCIÓN REGIONAL DE LA TASA DE METEORIZACIÓN EN ÁREAS FORESTALES DE LA ZONA NORTE DE MADRID MEDIANTE LA APLICACIÓN DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.**

Thomas F. Schmid<sup>1</sup> y José Gumuzzio Fernández<sup>2</sup>

<sup>1</sup>CIEMAT, Avenida Complutense, 22, 28040 Madrid.

<sup>2</sup>UAM-Dpto. Química Agrícola, Geología y Geoquímica. Cantoblanco s/n. 28049 Madrid.

**Abstract:** This paper presents the methodology to determine the regional distribution of the weathering rates and the critical loads of acidity in an area in the north of the Autonomous Community of Madrid, considering abiotic and biotic factors. A Geographical Information System has been used in order to manage georeferenced data, to introduce the appropriate data into the calculation methods and to present the regional distribution of the results. The study determines the different weathering rates found in the area of investigation and this is reflected in the distribution of the critical loads of acidity. Leptosols, Regosols and Cambisols present the lowest weathering rates and critical loads of acidity values in areas with slopes and at greater altitudes in the Sierra of Madrid. These soils are potentially more vulnerable to acidity. Further to the south, the weathering rates and critical loads of acidity for Cambisols and Luvisols increase, indicating that these soils are least to be affected by acid deposition.

**Key words:** Soil degradation, critical loads, weathering rates.

**Resumen:** Este trabajo aborda el estudio de la distribución regional de las tasas de meteorización y de las cargas críticas de acidez considerando factores bióticos y abióticos, en una zona forestal del norte de la Comunidad de Madrid. Se ha empleado un Sistema de Información Geográfica para tratar los datos georeferenciados y preparar la información para los distintos métodos de cálculo, así como para establecer la distribución regional de los resultados. El estudio determina áreas con distintos niveles de tasas de meteorización en la zona; permitiendo asimismo reflejar dicha distribución en las cargas críticas de acidez. Leptosoles, Regosoles y Cambisoles en áreas con pendiente o mayor altitud de la Sierra de Madrid presentan los valores más bajos de tasas de meteorización y cargas críticas. Estos suelos son potencialmente los más sensibles a la acidificación. Las tasas de meteorización y cargas críticas para Cambisoles y Luvisoles se incrementan hacia el sur del área de investigación, lo que indica una menor vulnerabilidad a la deposición ácida.

**Palabras clave:** Degradación de suelos, cargas críticas, tasa de meteorización.

### **INTRODUCCIÓN**

Uno de los problemas medioambientales más importantes y a mayor escala con los que

nos enfrentamos actualmente es el de la acidificación de los ecosistemas debida a la elevada deposición de compuestos SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> y NH<sub>x</sub> procedente de la atmósfera.

El Convenio sobre Transporte Transfronterizo a Larga Distancia de Contaminantes Atmosféricos (Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution) fue el primer instrumento de dimensión internacional creado para tratar los problemas de la contaminación atmosférica en una amplia base regional. Una parte importante del trabajo relacionado con los efectos, realizado en el marco de este Convenio, ha sido establecer la distribución regional de niveles de cargas críticas y su expresión cartográfica (Rivero Fernández et al., 1996).

El mayor aporte de cationes básicos procede del depósito de los mismos y de la meteorización química, siendo eliminados fundamentalmente a través del lixiviado y la absorción, constituyendo importantes factores para determinar el estado químico del suelo. Según Sverdrup (1990), la tasa de meteorización es uno de los parámetros más importantes para determinar la vulnerabilidad de un suelo ante la acidificación por deposición atmosférica.

En este trabajo se emplea una metodología que agrupa y ordena los instrumentos necesarios para la determinación de la distribución regional de la tasa de meteorización en diferentes suelos presentes en ecosistemas forestales de la zona norte de Madrid (Schmid, 1997). De un modo resumido la metodología empleada incluye:

a) Determinación de la tasa de meteorización para perfiles de suelo individuales en puntos localizados, mediante la aplicación de diversos modelos y métodos de cálculo. b) Identificación de los parámetros relevantes para los ecosistemas forestales con mayor influencia sobre el resultado de las tasas de meteorización. c) Aplicación de un SIG para obtener los datos abióticos y bióticos de entrada para determinar la tasa de meteorización usando tanto el modelo Profile (Warfvinge y Sverdrup, 1992) como otros métodos alternativos y a partir de estos datos determinar las cargas críticas de acidez con un modelo de balance de masas en estado estacionario (SSMB; Hettelingh y De Vries, 1991). d) Presentación de los resultados, mediante un SIG, de las tasas de meteorización y las cargas críticas de acidez que han sido georreferenciados.

Este trabajo, debido a su extensión, está centrado en los dos últimos aspectos de la metodología, presentando los resultados de la tasa de meteorización obtenidos con el modelo Profile.

Diversos trabajos de investigación han sido empleados como fuente de datos, en especial destacamos los estudios Jiménez Ballesta et al., (1982, 1996) y Sánchez Cabrero, (1993). Por otra parte, pueden citarse, desde el punto de vista edáfico los trabajos de Aleixandre et al. (1981a y b), García-González et al. (1981) y Pinilla et al., (1981), entre otros. Un estudio con mayor detalle del trabajo puede encontrarse en Schmid (1997). -

## METODOLOGÍA

El área de investigación seleccionada corresponde a la Sierra Norte y su entorno de sedimentos arcósicos de la Comunidad Autónoma de Madrid. Dicha zona fue elegida por su litología (granitos, gneis y arcosas), variación en la topografía, presencia de ecosistemas forestales y variaciones climáticas.

El procedimiento seguido con el fin de obtener los resultados de la distribución regional de las tasas de meteorización se resume en la Fig. 1.

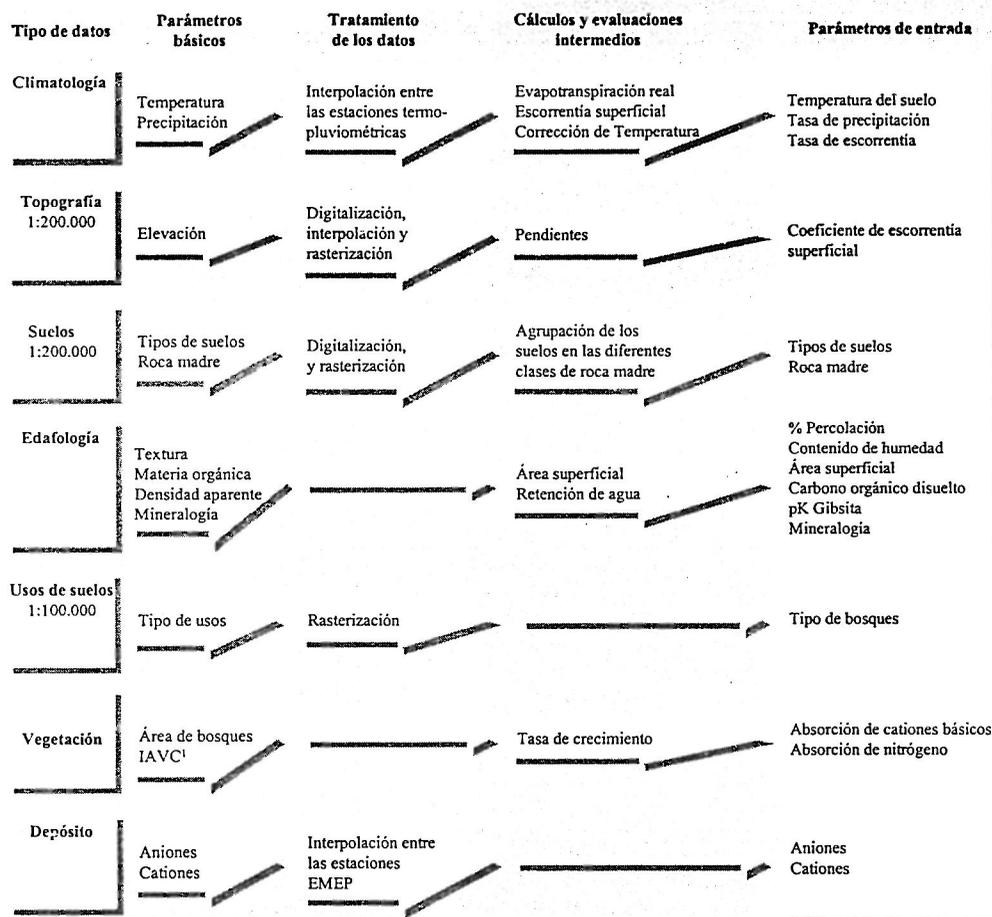
Los datos para los parámetros básicos se han obtenido a partir de diversos mapas, cuya escala se indica en la figura 1, y de fuentes recogidas en la Tabla 1.

Esta información ha sido tratada mediante un SIG para obtener los datos de entrada que usa directamente el modelo Profile o alternatively han sido necesarios cálculos intermedios y ciertas evaluaciones previas para su introducción en el modelo. En el caso de los datos climáticos y de depósito, debido a que proceden de estaciones puntuales, se han realizado las interpolaciones necesarias. El tratamiento detallado de estos datos puede encontrarse en Schmid (1997).

Para el tratamiento de los datos de entrada a los modelos, así como los parámetros relacio-

Tabla 1. Fuente de datos empleados en distribución de la tasa de meteorización

Tipo de datos	Fuente
Climatología	MOPTMA (1995)
Topografía	MOPTMA (1996)
Suelos	Monturiol y Alcalá (1990)
Edafología	Aleixandre et al. (1981a y b), García-González et al. (1981), Jiménez Ballesta et al. (1982, 1996), Pinilla et al. (1981), Monturiol y Alcalá (1990), Sánchez Cabrero (1993)
Usos del suelo	Comisión Europea (1985)
Vegetación	ICONA (1994)
Depósito de iones	Schang et al. (1989)



<sup>1</sup> Incremento anual del volumen maderable con corteza

Figura 1. Tratamiento de datos para la determinación de la distribución regional de la tasa de meteorización.

nados en los puntos de localización y su distribución regional se utilizaron los SIG Terrasoft (1993) e IDRISI (1995), ésto permite combinar la información espacial con bases de datos asociadas. En este trabajo se ha elegido utilizar el sistema raster (basado en una malla de 1Km x 1Km) debido a la mayor eficiencia y flexibilidad en el proceso de superposición de capas (Burrough, 1994).

La tasa de meteorización ha sido calculada con el modelo Profile (versión 3.0.1) dado que este modelo considera un número de importantes parámetros edáficos, climáticos, absorción de vegetación, etc., que otros modelos o métodos no consideran. La tasa de meteorización obtenida como resultado se estima como la más precisa, siendo de  $\pm 20\%$  según Sverdrup y Warfvinge (1993).

Estos cálculos han sido realizados para

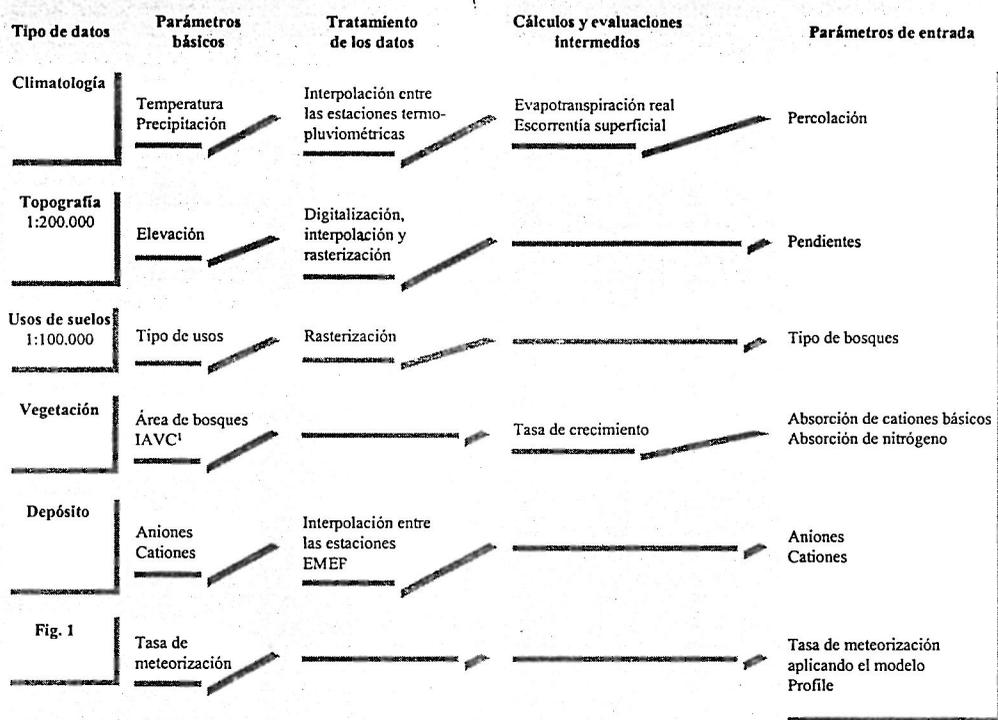
cada tipo de suelo asociado a su litología, tipo de bosque, pendiente y temperatura. Mediante un SIG los valores obtenidas son representados en sus correspondientes clases de tasa de meteorización.

La distribución de las tasas de meteorización son aplicables al cálculo de las cargas críticas de acidez. El procedimiento seguido es descrito de un modo resumido en la Fig. 2.

Los datos para los parámetros básicos proceden de las mismas fuentes que en el caso anterior (Tabla 1), siendo introducidos los datos de entrada en el modelo SSMB.

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se han obtenido mapas con la distribución regional correspondientes a las tasas de



<sup>1</sup> Incremento anual del volumen maderable con corteza

Figura 2 Procedimiento para obtener la distribución de las cargas críticas de acidez.

meteorización y las cargas críticas de acidez. Asimismo se ofrecen gráficamente los rangos de variación (máximo y mínimo) y su valor medio (como una barra horizontal entre los valores máximos y mínimos) de las tasas de meteorización y cargas críticas para los diferentes suelos forestales según su material subyacente específico.

En el norte de la Comunidad de Madrid se encuentran los valores más bajos de las tasas de meteorización, comprendidos en intervalos de 0 a 200 y de 201 a 400 eq ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, en particular en zonas paralelamente a su límite noroeste (Fig. 3). Estos valores se asocian fundamentalmente a materiales de tipo granitos y gneis y a las mayores altitudes.

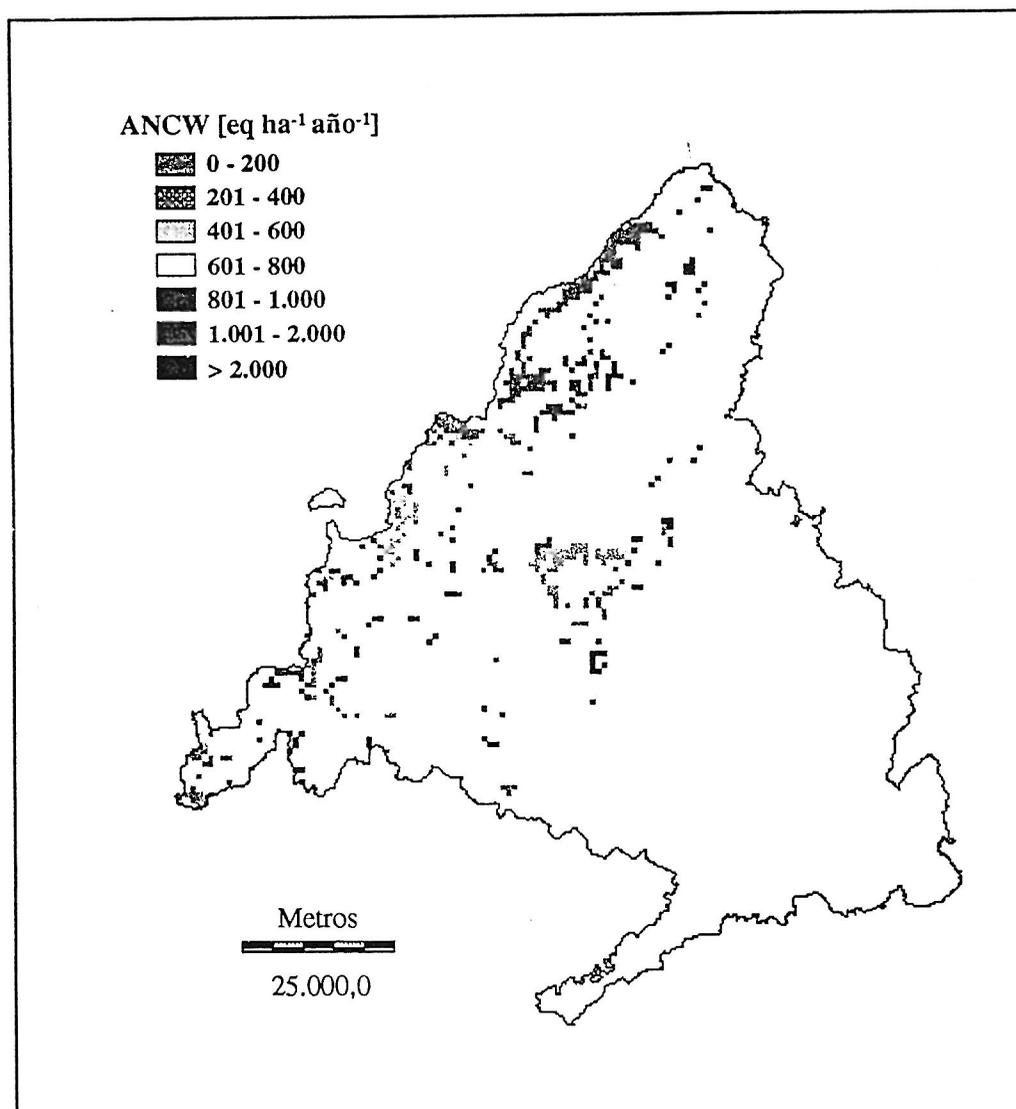


Figura 3. Distribución de la tasa de meteorización calculada con el modelo Profile.

Hacia el sur, los valores presentan una tendencia a crecer y superan los 1.000 eq ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, debido fundamentalmente a un cambio en la tipología de los suelos.

Los Leptosoles son los suelos que presentan las tasas de meteorización más bajas (Fig. 4), alrededor de 200 eq ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> o inferiores. Los Regosoles están entre los 375 y 446 eq ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, encontrándose los Cambisoles entre 400 y 800 eq ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> y los Luvisoles en valores iguales o superiores a 800 eq ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>.

Los Cambisoles presentan los mayores rangos de variación. Sin embargo, al considerar el valor medio de las tasas de meteorización se aprecian diferencias significativas entre los di-

ferentes tipos de Cambisoles. En los Cambisoles éutricos, dístricos y húmicos sobre granito, el valor medio de la tasa de meteorización es de 854, 684 y 430 eq ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> respectivamente. Para los Cambisoles dístricos y húmicos sobre gneis estos valores son de 715 y 382 eq ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> y para los Cambisoles éutricos sobre arcosa el valor es 774 eq ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>.

La distribución regional de las cargas críticas de acidez (Fig. 5) muestra cierta similitud con la distribución de las tasas de meteorización. Existen pocos suelos forestales con una carga crítica inferior a 1000 eq ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> encontrándose dispersos en la zona norte de la Comunidad de Madrid. Los suelos con valores com-

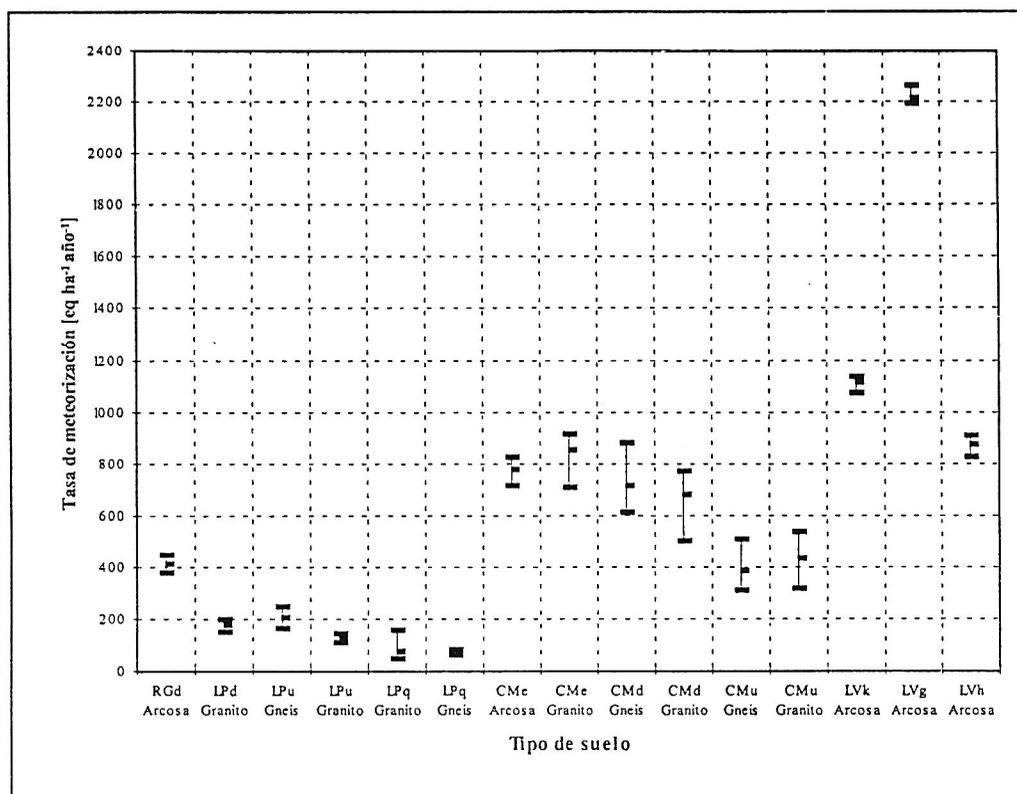
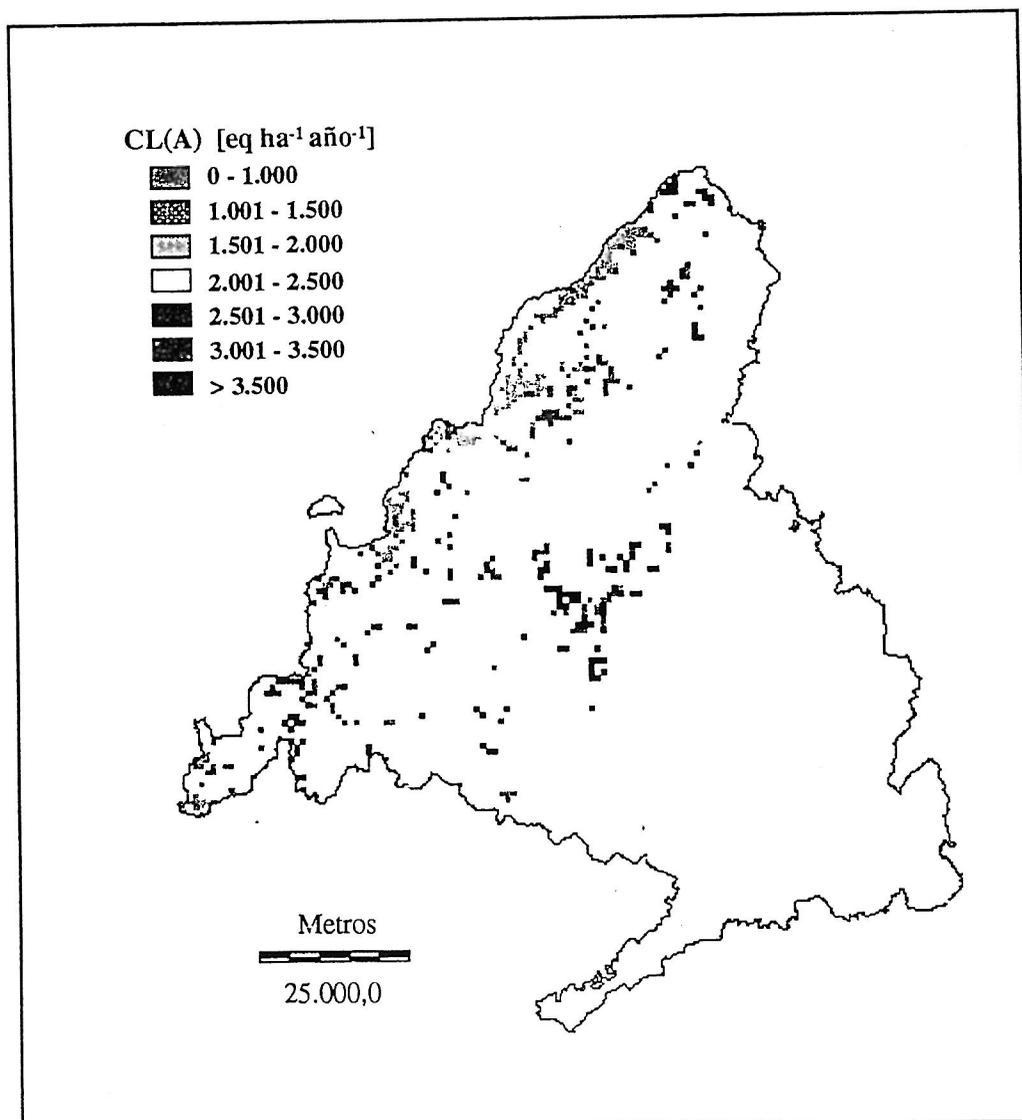


Figura 4. Rango de variación de las tasas de meteorización para los suelos forestales calculadas con el modelo Profile.

Figura 5. Distribución de las cargas críticas de acidez considerando las tasas de meteorización del modelo Profile.



prendidos entre 1.000 y 1.500 eq ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> están preferentemente en la parte central de la Sierra con agrupaciones ocasionales en dirección suroeste.

Los suelos cuya carga crítica está en el intervalo de 1.501 a 2.000 eq ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> se

concentran en el límite noroeste. Apareciéndose hacia el sur una tendencia a presentar una mayor carga crítica de acidez. De este modo, los valores más elevados se encuentran en el centro de la Comunidad. Por tanto, los suelos, más susceptibles a la acidificación, están fundamen-

tualmente ubicados en áreas forestales de la zona norte de la Sierra de Guadarrama.

El rango de variación de las cargas críticas de acidez (Fig. 6) de los Regosoles, Leptosoles y Cambisoles húmicos se sitúan fundamentalmente entre 1.000 a 2.000 eq ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Los Cambisoles éutricos y dístricos así como los Luvisoles háplicos están comprendidos entre 2.000 y 3.000 eq ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, mientras que en el caso de los Luvisoles cálcicos y gléicos está por encima de los 3000 eq ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>.

Comparando valores medios representativos de los diferentes tipos de suelos con los que se encuentran alrededor del mismo rango de

variación, encontramos que los Leptosoles y Regosoles presentan valores medios claramente diferenciados.

Estos valores de cargas críticas de acidez están muy alejadas de los valores que normalmente se obtienen en los países del norte de Europa, donde las cifras caen por debajo de 100 eq ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. En nuestra zona, el menor valor obtenido es de 822 eq ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> para un Leptosol lítico sobre granito. Este valor ha sido obtenido a partir la tasa de meteorización a partir del modelo Profile.

Debemos destacar que tanto el modelo Profile como el SSMB que determinan la tasa

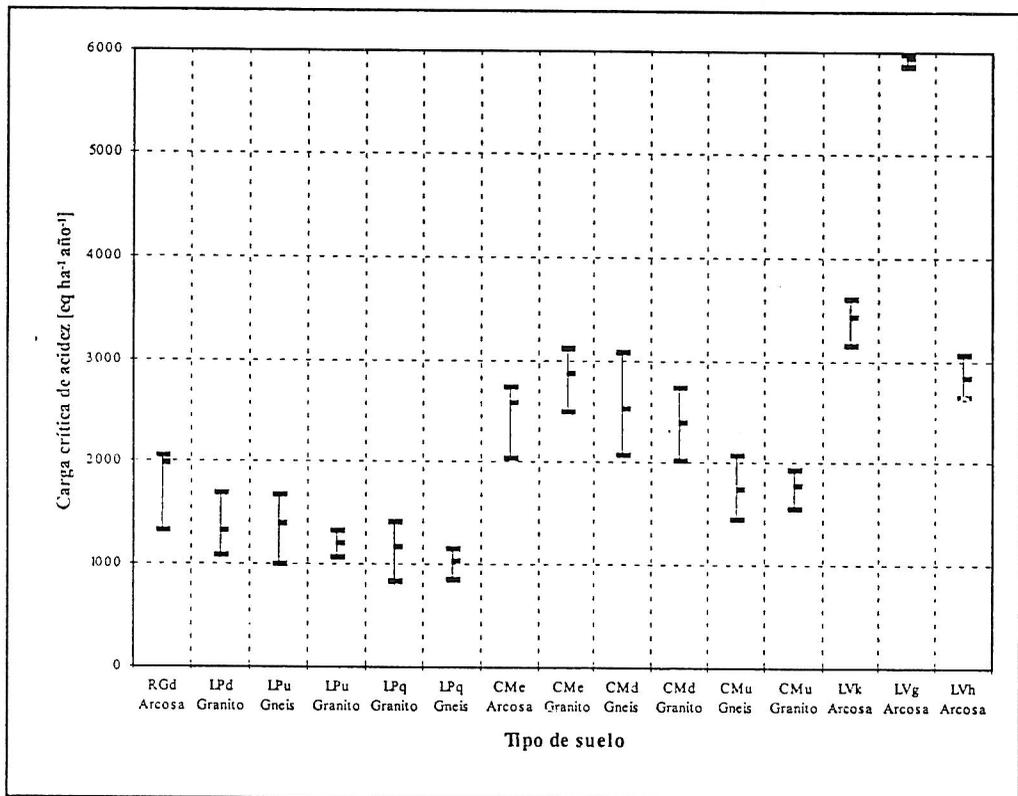


Figura 6. Rango de variación de las cargas críticas de acidez considerando las tasas de meteorización obtenidas con el modelo Profile.

de meteorización y la carga crítica de acidez respectivamente, han sido desarrollados en aquellos países (especialmente los escandinavos) donde la acidificación plantea severos problemas a los ecosistemas naturales. En el caso de España, nos encontramos una serie de entornos diferentes a los previstos en el desarrollo original de los modelos (por ejemplo, el Mediterráneo) con factores bien distintos que han obligado a introducir diferentes aproximaciones. Sería recomendable que estos modelos fuesen adecuados convenientemente a las condiciones mediterráneas.

## CONCLUSIONES

La distribución espacial de las tasas de meteorización ha permitido discriminar áreas con distintos niveles de tasas de meteorización y cargas críticas de acidez en la zona de estudio.

Las tasas de meteorización más bajas la presentan suelos situados en la Sierra de Madrid. Estos son básicamente Leptosoles, Regosoles y Cambisoles en áreas con pendiente o mayor altitud. Las tasas de meteorización para Cambisoles y Luvisoles se incrementan hacia el sur del área de investigación.

La distribución de las tasas de meteorización se refleja en la de las cargas críticas de acidez. Los valores más bajos de las cargas críticas obtenidos para los ecosistemas forestales se dieron en la Sierra de Guadarrama. Estos suelos son potencialmente más sensibles a la acidificación que los ecosistemas que están en el área de transición o sobre sedimentos arcósicos.

Si bien la metodología desarrollada se ha mostrado como válida en el nivel de aproximación requerido para la zona de estudio, se presenta como algo necesario la introducción de mejoras en los modelos que incorporen las características propias del área mediterránea. Debiéndose así considerar factores como: La interceptación de la vegetación, la deposición seca de iones o la obtención de más datos sobre la mineralogía para distintos tipos de suelos.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Dña. Isaura Rábago Juan-Aracil y Matilde Sousa Carrera por su colaboración en este trabajo, así como Dra. Rocio Millán Gómez por la revisión de este manuscrito.

## REFERENCIAS

- Aleixandre, T., Pinilla, A. y García-González, M.T., (1981a): III Procesos de Alteración de Minerales en Suelos de la Sierra de Guadarrama (Xerochrept y Xerumbrept). *Anal. Edaf. y Agrob.* XL, 1879-1896.
- Aleixandre, T., García-González, M.T. y Pinilla, A., (1981b): IV Procesos de Alteración de Minerales en Suelos Caracterizados por Fenómenos de Empardecimiento y Movilización de Arcilla (Haploxeralf). *Anal. Edaf. y Agrob.* XL, 2177-2198.
- Burrough, P. A., (1994): Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment. Clarendon Press, Oxford.
- Comisión Europea, (1985): Council Decision of 27 June, (95/338/EEC). Official Journal of the European Communities L176/14, p. 4.
- De Vries, W., Posch, M., Reinds, G.J. y Kämäri, J., (1993): Critical Loads and Their Exceedance on Forest Soils in Europe. Report 58 (Revised version). DLO, the Winand Staring Centre, Wageningen, the Netherlands.
- García-González, M.T., Pinilla, A. y Aleixandre, T., (1981): I Procesos de Alteración en Suelos Hidromorfos. *Anal. Edaf. y Agrob.* XL, 133-150.
- Hettelingh, J.P., y De Vries, W., (1991): Mapping Vademecum. National Institute of Public Health and Environmental Protection, Bilthoven, The Netherlands.
- Hoffman, F. O. y Gardner, R. H., (1983): Evaluation of uncertainties in radiological assessment models. Radiological

- assessment. A textbook on environmental dose analysis. Washington, DC: U.S. Nuclear Regulatory Commission; NUREG/CR3332, ORNL-5968.
- ICONA, (1994): Segundo Inventario Forestal Nacional 1986-1995: Comunidad de Madrid.
- IDRISI, (1995): Clark Labs for Cartographic Technology and Geographic Analysis. Version 1.0. Worcester, MA, USA.
- Jiménez Ballesta, R., Martín De Vidales, J. L. y García Giménez, R., (1982): Significado de la presencia de horizontes Bt en suelos de las facies de Madrid. Aproximación para explicar el contenido de arcilla en este tipo de horizontes. *Anal. Edaf. y Agrob.* XLI, 1235-1248.
- Jiménez Ballesta, R., Sánchez Cabrero, B. y Sverdrup, H., (1996): Critical acid loads for different soils of the Mediterranean environment. *The Science of the Total Environment* 181, 65-71. Elsevier Science.
- MOPTMA, (1995): Guía resumida del clima en España 1961 - 1990. Serie estadísticas. Instituto Nacional de Meteorología.
- MOPTMA, (1996): Base de datos BCN200, Curvas de nivel 1:200.000. Instituto Geográfico Nacional.
- Monturiol Rodríguez, F. y Alcalá Del Olmo Bobadilla, L., (1990): Mapa de Asociaciones de Suelos de la Comunidad de Madrid. Escala 1:200.000. 1ª edición. Comunidad de Madrid Consejería de Agricultura y Ganadería y Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- Pinilla, A., Aleixandre, T. y García-González, M.T., (1981): II Procesos de Alteración en Suelos Rubificados. *Anal. Edaf. y Agrob.* XL, 151-161.
- Rivero Fernández, C., Rábago Juan-Aracil, I., Sousa Carrera, M., Lorente Ibañez, M. y Schmid, T., (1996): Cálculo y Cartografía de Cargas Críticas para España. Colección Documentos Ciemat.
- Sánchez Cabrero, B., (1993): Cargas Críticas de los Suelos de la Comunidad de Madrid. Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Madrid.
- Schaug, J., Pedersen, U. y Skjelmoen, J., E., (1991): EMEP Data report, Part 1: Annual summaries. Norwegian Institute for Air Research, Lillestrøm, Norway.
- Schmid, T., F., (1997): Tasa de meteorización en ecosistemas forestales. El caso de la Sierra Norte de Madrid y su Entorno de sedimentos arcósicos. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, UAM.
- Sverdrup, H.U., (1990): The Kinetics of Base Cation Release due to Chemical Weathering. Lund University Press, Sweden.
- Sverdrup, H. y Warfvinge, P., (1993): Calculating field weathering rates using a mechanistic geochemical model Profile. *Applied Geochemistry*, Vol. 8, pp. 273-283.
- TERRASOFT, (1993): Digital Resources Systems Limited of Nanaimo, British Columbia.
- Warfvinge, P. y Sverdrup, H., (1992): Calculating Critical Loads of Acid Deposition with Profile - a Steady State Soil Chemistry Model. *Water, Air and Soil Pollution* 63, pp. 119-143.
-