

# **XVII REUNION NACIONAL SOBRE EDAFOLOGIA**



**BADAJOS, 24 al 28  
SEPTIEMBRE 1990**

**ORGANIZA:**

**CATEDRA DE EDAFOLOGIA Y QUIMICA AGRICOLA  
(UNEX) Y SOCIEDAD ESPAÑOLA DE CIENCIAS DEL SUELO**

## COMISION ORGANIZADORA

- \* Arturo Garcia Navarro
- \* Luis Fernández Pozo
- \* Antonio López Piñeiro.

## COLABORACIONES

- \* Juan Pablo Almendros Triguero
- \* Alfredo Anegas Morales
- \* Juana Labrador Moreno
- \* Maria Angeles Rozas Espadas

El comité organizador desea agradacer a los propietarios de las fincas utilizadas durante las sesiones de campo su desinteresada ayuda.



## INDICE

### CONFERENCIAS

- \* SUELOS CON HORIZONTE DE "DURIPAN" (TEPETATE)  
EN IBEROAMERICA. A. Guerra.....
- \* APLICACIONES DEL GROUND PENETRATING RADAR  
Mary E. Collins.....
- \* LA ENSEÑANZA DE LA EDAFOLOGIA ASISTIDA  
POR VIDEO Y ORDENADOR. C. Dorronsoro.....
- \* ASPECTOS METODOLOGICOS PARA LA CARACTERIZACION  
DE LA ACIDEZ DEL SUELO. J.M. Hernández.....

### COMUNICACIONES

- \* Estudio mineralogico y micromorfologico de  
TEPETATES (Méjico). Martinez lópez, M.J., Pinilla  
Navarro, A., Benayas Casares, J. y Guerra Delgado.
- \* Formas de minerales caoliniticos en suelos  
graniticos de Galicia. Romero, R., Taboada, T.M.,  
Garcia, C.....
- \* Relaciones entre dos Indices de Alteración:  
el indice de Parker y el pH de abrasion.  
Taboada, T.M., Romero, R., Garcia C.....
- \* Determinacion de Capacidad de Cambio Cationico  
y cationes extraibles con Ag-Tiourea en Andosoles  
Arbelo, C.D., Espino, M., Hernandez Moreno, J.M..
- \* Caopacidad de cambio actual y potencial en  
Andosoles y Ultisoles. Espino, M., Arbelo, C.D.,  
Hernandez Moreno, J.M.....
- \* Aplicacion del factor de retencion a la estima-  
cion de las necesidades de fertilizacion fosfata-

da en vertisoles de la provincia de Badajoz.  
Garcia Navarro, A. y Lopez Piñeiro, A.....

\* Formas de azufre en suelos de Galicia. Merino,  
A., Garcia Rodejo, E.....

\* Procesos de acidificación en suelos. Algunos  
ejemplos de suelos de Galicia. Urrutia Mera, M.M.  
Garcia Rodeja, E., Macias Vazquez, F.....

\* Suelos de la campiña de la provincia de Sevilla  
Collado, A.D., Riva, R., Serruto, G., Villamil, J.  
Alvarado, D. Mudarra, J.L., Rosales, A.....

\* Los suelos del municipio de Badajoz. Breve  
descripción cartográfica. Garcia Navarro, A. y  
Fernandez Pozo, L.....

\* Aspectos geomorfológicos en el diagnóstico  
edafológico de los Planosoles de "El Campo Ara-  
ñuelo". (Caceres-Toledo) y su posible aprovecha-  
miento con nuevos regadíos. Laya, H., Laya, D.,  
Gimenez, S. y Roquero, C.....

\* Aspectos edáficos de los hayedos navarros.  
Sanchez Palomares, D., Carretero, M.P., Elena, R.

\* Impacto de la degradación de diversos ecosis-  
temas forestales del centro de España sobre las  
propiedades físicas de los suelos. Velasco, F.  
Meseguer, J.....

\* Representatividad de las estaciones meteoro-  
lógicas respecto al factor altitud. Saa Requejo,  
A. y Gasco Montes, J.M.....

\* Formas de degradación del suelo en áreas  
pascícolas del Pirineo Central. Alcubilla, M.,  
Ascaso, J., Ferrer, V. y Ferrer, C.

## CONFERENCIAS



## SUELOS CON HORIZONTES DE DURIPAN (TEPETATE) EN IBEROAMERICA

Prof. Dr. D. A. Guerra Delgado  
Universidad Autónoma de Madrid

Los horizontes de cementación han sido siempre muy tenidos en cuenta en todos los sistemas de clasificación; su significado genético y muy particularmente, la influencia que ejercen en las propiedades físicas y agronómicas de los suelos, los elevan a todos ellos a la consideración de horizontes de diagnóstico, por lo que su presencia y naturaleza constituye uno de los parámetros más importantes en el conocimiento de los suelos y en la evaluación de los mismos.

En esta conferencia se pretende dar una información preliminar acerca de los horizontes de cementación de sílice, duripanes, que tienen una máxima representación en Iberoamérica debido a la abundancia de materiales geológicos de origen volcánico, piroclastos, cenizas volcánicas, lapilli, etc. y por la gran representación de regímenes de humedad con déficit estacional como son el ústico, xérico, tórrido y arídico. Se admite que bajo un régimen perúdic, propio de las regiones tropicales americanas, la presencia de horizontes de cementación por carbonato cálcico, yeso, o sílice es muy excepcional; la intensidad de la meteorización química y el intenso lavado, impiden la acumulación de estos componentes en el suelo ya que son lavados y eliminados de la masa del mismo.

Llama la atención el que los horizontes de acumulación de carbonato cálcico, sobre materiales volcánicos, sean muy frecuentes en regiones mediterráneas europeas, mientras que los duripanes silíceos no han sido prácticamente señalados ni descritos, y concretamente en España, tanto en Canarias como en las regiones peninsulares; lo mismo se puede decir

en relación con las islas italianas de Córcega, Sicilia y Italia meridional, donde las referencias a los duripanes son excepcionales. En contraste, estos horizontes están ampliamente representados en todo el continente americano recibiendo distintas denominaciones como se expresan en el cuadro siguiente:

PAIS o ETNIA	TERMINO
Internacional	Silcreta
EEUU	Duripan
Méjico Nacional	Duripan
Méjico Nahuatl	Tepetate
Méjico Otomí	Xido
Méjico Tarasco	Sheri
Nicaragua	Talpetate
Antillas	Pan
Colombia	Duripan (antes harpan)
Ecuador	Cangalina
Perú	Harpan
Chile	Cancagua, Moromoro, Tosca (*)

\* La denominación Tosca es de origen español y tiene un significado distinto en nuestro país.

Los tepetates o duripanes eran muy conocidos en Mesoamérica hace ya más de 1000 años; por la escasez de buenas tierras los terrenos tepetatosos, impropios para la agricultura por la erosión, eran transformados en suelos "quebrándolos en épocas de lluvia y luego sembrarlos con haba y ayocote, es decir con abonos verdes, añadian abono de establo y ya para el segundo año se podía sembrar maíz y eso lo hacían rutinariamente la gente de Tlaxcala" (E. Hernández Xolocotzi)

El término tepetate ha sido usado en Iberoamérica para designar muchas veces cualquier horizonte o capa cementada incluso se conocían como tal a los horizontes de cementación de carbonatos. Entre el horizonte de duripan y el petrocálcico existen toda una serie de estados de transición

en los que la sílice amorfa y la calcita entran en distinta proporción, contribuyendo ambos componentes en la cementación del horizonte:

Bq <=====> Bkq <=====> Bk

Aunque la dinámica de la sílice y de los carbonatos es paralela, sus propiedades físico-químicas difieren en gran medida. En Europa y concretamente en España tal vez muchos de los horizontes cálcicos y petrocálcicos podrían ser duripanes carbonatados en mayor o menor proporción. En ocasiones se observan capas cementadas en las que los horizontes Bq se alteran con los Bk complicando aun más la génesis de estos horizontes. La sílice de los horizontes Bq no procede de la hidrólisis de los feldespatos, las condiciones físico-químicas del medio, el pH comprendido entre 7 y 8, excluyen la liberación masiva de la misma y es el vidrio volcánico con una composición de  $\text{SiO}_2$ , a veces hasta un 70%, la fuente principal de este componente. El ópalo es mucho más soluble que otras formas cristalinas o criptocristalinas de silicio en los suelos, pero y más importante, es que la velocidad de disolución es muy superior del primero respecto de los segundos. Por otra parte el ópalo con su estructura abierta, desordenada e hidratada tiene una composición "volumétrica" muy parecida a la del agua, ya que en ambos compuestos son átomos de oxígeno, muy volúminosos en relación con los átomos de silicio e hidrógeno, los que condicionan el paso casi en solución de continuidad del ópalo al medio acuoso de la solución del suelo.

Tanto los carbonatos como el ópalo impermeabilizan y cementan horizontes edáficos y sedimentos geológicos, pero la capacidad de cementación del ópalo es muy superior a la de los carbonatos. Los contenidos en sílice amorfa de los duripanes no sobrepasan el 10% mientras que los carbonatos necesitan contenidos superiores al 40% para poder impermeabilizar y cementar un horizonte o sedimento. El carácter coloidal hidrófilo de la sílice gel amorfa tiene también gran capacidad para "taponar" huecos y fisuras de la microestructura no así la calcita cristalina. Otra cosa es la capacidad de cementación de la sílice "opalina" cuyo mecanismo no está todavía enteramente aclarado. Cutanes ricos en sílice se pueden observar macroscópicamente en las caras de los prismas de los duripanes; en corte delgado se observa el ópalo en forma de flocos, módulos, silanes y neosilanes. Si la cementación de los duripanes se debe a la

silice opalina, la baja permeabilidad de los mismos se puede deber también a formas de gel de silice amorfa. Sobre estos temas queda bastante que investigar.

La formación de las costras siliceo-cementadas ha sido y es un tema que desborda en bastantes casos el campo de la edafología; se han descrito cementaciones en México, Ecuador y Chile de varios metros de espesor, lo cual excluye las dimensiones edáficas. Lo que ocurre con las costras calcáreas en países mediterráneos, ocurre también con los tepetates en Iberoamérica. Se acepta que la emisión de materiales cineríticos va acompañada por el escape de vapor de agua a alta temperatura que meteoriza los vidrios volcánicos, libera silice en gran cantidad y al enfriarse cementa estratos o depósitos que luego a su vez, por los procesos erosivos, quedan al descubierto constituyendo material originario para la formación de suelos. Tal es el caso de muchos suelos tepetatosos en México; otras veces sobre el tepetate geogenético se deposita un manto coluvial fácilmente distinguible por la transición abrupta y la distinta composición de los minerales en la fracción pesada del limo y de la arena. La edafización de tepetates de origen geológico crea dificultades en múltiples ocasiones para su distinción. La aplicación de ciertas técnicas edáficas ayudan a la interpretación en los casos dudosos tal sucede con el estudio de los rasgos edáficos en el examen del corte delgado de los tepetates, como son, la aparición de granos de polen y lo que es muy importante, la presencia de fitolitos que normalmente se acumulan en la fracción limo de los tepetates edáficos y la presencia de rasgos de iluviación.

El grado de endurecimiento de los horizontes silíceos cementados es variable, en general son duros como piedras, es preciso golpearlos con el martillo para fragmentarlos. Su dureza aumenta con la exposición a la intemperie; cuando los horizontes o capas superiores se erosionan son muy poco permeables al agua por lo que su alteración es muy lenta, tan lenta que hoy se pueden observar edificios, templos, sepulturas, pequeñas pirámides, etc., construidos con tepetate y que se conservan desde hace más de 1000 años. La textura de los tepetates es muy variable, pudiendo alcanzar hasta un 40% la fracción arcillosa lo que confiere a los tepetates un grado de alteración muy variable. Obviamente los tepetates de origen geológico apenas tienen arcilla, son explotados como material de construcción, existen

canteras para su extracción; pulverizados se obtiene un producto para su mezcla con cemento. Pero la proporción de arcilla a veces es también muy pequeña en los tepetates con rasgos edáficos muy desarrollados. La haloisita es el mineral dominante, casi exclusivo, no es glomerular y está muy mal cristalizada, aumentando el grado de cristalización conforme aumenta la proporción de la misma. Apenas hay arena gruesa, predominando las fracciones 0.05-0.002 mm y 0.5-0.05 mm. En otros casos, tepetates de la cuenca de Texcoco, la proporción de arcilla es muy elevada, 30-50 %, son los que muestran rasgos edáficos más desarrollados. En las fracciones gruesas, 0.5-0.05 mm, la fracción ligera domina sobre la pesada en una proporción media de 90 a 10 y en ésta domina, con mucho, la fracción no magnética. Abundan los feldespatos (oligoclasa-andesina), ceniza volcánica más o menos alterada y vidrio volcánico. Los fitolitos, en mayor o menor proporción, son también una constante en los tepetates edáficos.

En Méjico hasta ahora se han reconocido al menos tres tipos de tepetates, a falta de datos mineralógicos y químicos, se les identifican por su color, blanco, amarillo y rojo; indudablemente será función de su contenido en sílice y hierro, los minerales pesados son también algo distintos y la alteración sufrida también los diferencia. En este sentido también queda mucho por hacer.

Un problema planteado a escala nacional es el de la degradación de las zonas tepetatosas. Los horizontes minerales superpuestos a los duripan han sufrido por la deforestación y mal uso de la tierra una erosión intensa quedando los materiales cementados al descubierto y a su vez, éstos se erosionan por efecto de las lluvias estivales formando profundas cárcavas y barrancos que aceleran cada vez más el proceso erosivo, se forman "bad-land" y la desertificación cubre grandes áreas, miles de Km<sup>2</sup>, de los estados de Méjico, Puebla y Tlaxcala. Edafólogos y agrónomos mejicanos se afanan hoy día en la regeneración de suelos, conservación y manejo de los mismos con fines paisajísticos, agrícolas y forestales. En este sentido la Universidad autónoma de Chapingo y el Colegio de Postgraduados de Chapingo intensifican sus esfuerzos con estos fines y la labor realizada hasta ahora es muy encomiable. Las dificultades son grandes y el coste de los trabajos de recuperación de zonas tepetatosas degradadas es muy alto, puesto que exigen grandes obras de ingeniería.

La edafización de los tepetates es a su vez difícil y lenta; en primer lugar son muy duros de trabajar, es preciso esperar en épocas de lluvia a que se humedezcan algo, luego se trabajan y roturan mecánicamente, se aterrazan siguiendo técnicas muy diversas, terrazas de absorción, subsuelo a nivel, método gradoni etc., todo ello encaminado a aminorar la escorrentía superficial y aprovechar al máximo el agua de lluvia. Los tepetates ya edafizados artificialmente tienen una fertilidad muy baja pues aunque los valores de Ca, Mg, K y Na son suficientes, el contenido en P y N es prácticamente nulo. Se han hecho muchos ensayos para repoblar las áreas tepetatosas, una vez abancaladas, se ha ensayado con Eucaliptus sp., Pinus radiata, Pinus montezumae, Casuarina sp., y Cupressus sp. También se ha ensayado la implantación en las zonas con problemas más serios del nopal (Opuntia ficus indica), maguey e incluso el palo dulce (Eusenhardtia polustachya)

El aprovechamiento agrícola de las áreas tepetatosas plantea también serios problemas ya que necesitan de una fertilización orgánica y química elevada y lo que es peor la estabilidad estructural de los suelos desarrollados a partir de tepetate es muy baja por lo que los problemas de erosión son muy costosos de resolver.

***APPLICATIONS OF GROUND-PENETRATING RADAR***

*Mary E. Collins  
Associate Professor  
Soil Genesis and Classification  
2171 McCarty Hall  
Soil Science Department  
University of Florida  
Gainesville, Florida 32611*

## ABSTRACT

The ground-penetrating radar (GPR) provides for a rapid, cost effective way to investigate subsurface features at depths ranging from 0.5 to 25m. It has been used in geologic studies to detect water channels, bedrock topography, groundwater tables, stratigraphy, fractures and faults. In archaeological studies the radar has been used to identify historic burial sites and artifacts. A major advance with GPR has been its application to pedologic investigations. Since 1981, the USDA-Soil Conservation Service has utilized this system to successfully identify diagnostic horizons and features in the soil. Diagnostic subsurface horizons such as argillic, calcic, cambic, fragipan and spodic horizons; lithic, paralithic and petroferric contacts; and soil features such as water tables, wetting fronts, lamellae, plinthite and salinity are detectable with GPR under optimum field conditions. Radar efficiency has reported to decrease field costs by 70% while increasing productivity by 210%. Applications of GPR technology is limited but can be successfully applied in most areas of some countries in the world and in some areas of all countries.

## *INTRODUCTION*

The ground-penetrating radar (GPR) is a geophysical system used to investigate shallow subsurface features. Archaeologic, geologic, pedologic and environmental applications encompass (i) detection of hidden water channels to predict pesticide movement (Kaniuka, 1987), hydrocarbon chemicals (Olhoeft, 1986), and shallow ground water tables; (ii) delineation of soil overburden (Asmussen, et al., 1986), depth and thickness of mineral and organic soil horizons, soil variability across the landscape and subsurface bedrock topography; (iii) investigations of salinity, buried hazardous waste materials, gas tank leaks, sinkholes, solution features; and (iv) studies of historical sites and for buried artifacts.

Geophysical techniques are not new. Seismic refraction has been used for similar purposes in the oil industry, for hydrogeological investigations, to map buried drainage channels and to identify boundary conditions for mathematical models of ground-water flow. The GPR is similar to seismic refraction techniques. These two techniques were compared by Olson and Doolittle (1985) in mountainous terrain to assess their capabilities and compatibilities to study soil characteristics and depths to water table and bedrock. They reported that GPR had the best resolution in the upper 2 m. Where colluvium was thick and bouldery, the GPR could not consistently define the bedrock topography. Also, in areas with clayey or shaley sediments, the GPR was more depth restricted. Seismic refraction was useful in determining the depths to the water table and bedrock, regardless of the thickness of the overburden, but could not distinguish significant soil horizons or features. Their conclusion was that both techniques were adequate but some subsurface ground truth was necessary for maximum success.

## *GROUND-PENETRATING-RADAR SYSTEM*

The GPR system most commonly used is the Subsurface Interface Radar (SIR) System-8 manufactured by Geophysical Survey Systems, Inc. (Trade names have been used to provide specific information. Their use does not constitute endorsement.) This unit consists of the Model 4800 control unit, a power distribution unit, the ADTEK Model SR-8004H graphic recorder and the ADTEK DT-6000 tape recorder (Fig. 1). Typically, the components of this unit are shock mounted in a vehicle, while the antenna is towed along the transect line as shown in

Fig. 1. Two 500-MHz antennas, arranged in a bistatic mode of operation, can also be seen in Fig. 1. Recently, a unit has been manufactured that houses both the radar control electronics as well as the scanning recorder in a single unit (Fig. 2). This unit is more portable and less expensive.

Five antennas (80, 120, 300, 400 and 500 MHz) have been used extensively to investigate earthen materials. Low frequency antennas provide information from greater depths, however they have lower resolution of subsurface features than high frequency antennas. High frequency antennas (900 and 1000 MHz) produce better resolution and are used to discriminate closely spaced features at shallow depths. An antenna can be towed by hand or by a vehicle at speeds from 3 to 8 km/h. Antennas have also been mounted on all terrain vehicles, boats, helicopters, skis and snowmobiles.

The transmitted radar signals can detect objects as deep as 25 m and as shallow as 0.5 m under optimum ground conditions. The depth of penetration depends upon the electromagnetic properties (principally conductivity) of soils and on the antenna frequency used. Soils having high conductivities rapidly dissipate the radar's energy and restricts probing depth. Factors influencing the conductivity of soils are (i) moisture content, (ii) amount and type of clays and (iii) amount and types of salts in solution. Generally, the probing depths of the GPR are 5 to 25 m in coarse-textured soils, 2 to 5 m in moderately coarse-textured soils and less than 0.5 to 2.5 m in fine-textured soils. These probing depths become more restricted as the concentration of soluble salts in solution and the proportion of active clays in the soil increases.

The transmitting and receiving antennas are electrically coupled by the soil through which the pulses of electromagnetic energy travel. The radiation pattern is conical in shape with the apex of the cone at the center of the antenna (Fig. 3). The GPR transmits repetitive pulses of short duration into the ground. When transmitted pulses of energy strike a change (interface) in the dielectric properties, a portion of the pulses' energy is reflected back to the receiving antenna (Fig.4). Reflections received are composite returns which have been "averaged" across the interface within the area of radiation. The reflections are amplified and converted into a similarly shaped waveform in the audio frequency range. The processed reflected signals are displayed on the graphic recorder or recorded on the tape for future playback. The final result is

a continuous profile record showing the location and depth of subsurface conditions and features (Fig. 5).

### GPR PERFORMANCE

The performance of a radar system depends on the internal factors of the radar unit, external factors of the conducting medium and the distance to an interface (Horton et al., 1982). Internal factors include power input to the transmitter, sensitivity of the receiver and power of radiation of the antenna. External factors are signal's velocity of propagation in a medium, the soil's electrical conductivity and surface and electromagnetic characteristics of the interfaces.

Reflected signals are recorded as black (strong signals), gray (intermediate), and white (weak signals) depending on electromagnetic gradient across an interface. Interfaces with contrasting dielectric properties will produce a strong reflected signal; whereas interfaces with similar dielectric properties will produce weaker reflections. In order to be discerned on the graphic profile, subsurface interfaces must have sufficient size to depth ratios. Generally, the larger the feature or object, the greater the depth at which the radar can detect it.

Depth calibration is dependent upon the two-way travel time of the electromagnetic pulses. Without ground control as reference data, the time-based measurements provide only relative depths. To calculate the depth scale either the depth to interface (D), the velocity of propagation in the medium (V), or the dielectric constant of the medium ( $\epsilon_r$ ) must be known. The soil's velocity of propagation in a medium is expressed in the following equation:

$$\epsilon_r = (C/V^2)$$

where C = propagation velocity in free space ( $3 \times 10^8$  m/s). Estimation of the propagation velocity of the electromagnetic pulses through the medium is given in the following equation:

$$V = 2D/t$$

where t = elapsed time between the transmitted pulse and the received pulse. Another method of calculating the depth of GPR signal penetration is by the use of the following equation:

$$d = tp (0.15 (\epsilon_r^{1/2})^{-1})$$

where d = depth in meters, tp = two-way travel time in nanoseconds. Values listed in Table 1 of the velocity propagation and the dielectric constant are only approximations because factual information of the electromagnetic properties of most earthen materials is lacking.

## **PEDOLOGIC APPLICATIONS**

Since the late 1970's pedologists have used this technology to investigate mineral and organic soils. Now, much of the GPR pedologic work is in determining the lateral extent and depth variability of soil properties which increase the precision of soil surveys.

Feasibility of using GPR to study subsurface features in soils was initially determined in a study in Florida (Johnson et al., 1979). This study demonstrated the usefulness of the radar for soil surveys. Soil surveys are made by soil scientists who walk over the land and examine the soil at various depths with manual and mechanical probes and augers. The soil scientists map the soils by noting the presence of and depth to important horizons or soil features. These are discrete observations points. Ground-penetrating radar provides a continuous, two-dimensional profile (Fig. 5), thus, much more detailed subsurface information is obtained.

Pedologic applications of the GPR include (i) determination of water table depths in coarse-textured soils in Massachusetts and Florida (Shih et al., 1985), (ii) investigations of the organic soil thickness in the Florida Everglades (Doolittle, 1983; Shih and Doolittle, 1984; Collins et al., 1986), (iii) study of microvariability of argillic and spodic horizons (Collins and Doolittle, 1987), (iv) characterization of soil map units (Doolittle, 1982; Puckett et al., 1990; Collins et al., 1989), (v) improvement of soil salinity management (Shih et al., 1985), (vi) evaluation of soil-landscape patterns on karst (Collins et al., 1990; Puckett et al., 1990), and (vii) study of soils, water table depths and bedrock topography in mountainous terrain (Olson and Doolittle, 1985).

In Florida, data obtained with GPR has been used to update the soil surveys for Hardee, Hillsborough, Orange, Sarasota and Seminole counties. Data was used to statistically document by confidence intervals and levels the variability of soils and related soil properties within map units. This information is presented in soil surveys to inform the user about the type and magnitude of variability in soil behavior and interpretations occurring within soil map units (Schellentrager, et al. 1988).

## **RADAR EFFICIENCY**

Radar efficiency has been documented. Johnson et al. (1979) tested the GPR at two

locations in central Florida that had several contrasting soils. Approximately 8 km of GPR transects were run. They reported that the GPR data were generally of excellent quality, accurately measuring the depth to and thickness of several kinds of soil horizons. In areas of uniform soil horizons, the correlation between radar record and auger borings was commonly within 2.5 to 5.0 cm. Johnson et al. (1979) concluded that GPR was an effective supplemental field tool for obtaining subsurface data in a relatively short time.

Microvariability of spodic and argillic horizons was studied by Collins and Doolittle (1987) in a representative Florida Spodosol. They compared obtaining the necessary data by conventional means to GPR techniques. They reported that the time needed to obtain the subsurface data with GPR was 0.5 h compared to an estimated 9.0 h by conventional field methods. As reported by Doolittle (1982), GPR techniques also decreased survey costs by an estimated 70% while increasing productivity per soil scientist-hour by 210% (Table 2).

#### ***APPLICABILITY IN THE UNITED STATES***

The use of GPR for subsurface investigations is in an active stage of growth and development. This trend has been accelerated by the radar's recent commercialization and a growing familiarity with its potential uses. However, the use of GPR techniques has been limited because of: (i) initial high costs, (ii) limited knowledge of performance in various mediums and geographic locations, (iii) rapid signal attenuation and depth restriction in certain mediums, and (iv) results which are often dependent upon the skill and experience of the operator.

Acknowledging these specific limitations, general areas within the United States (Fig. 6) appear to be suitable for the application of GPR techniques (Doolittle, 1982). The map in Fig. 6 is a very broad generalization and ignores the site-specific nature of the radar. However, certain observations can be made. For example, in the Great Plains the potential for GPR investigations is generally poor because of the predominance of moderately-fine and fine-textured soils which are high in carbonates and/or have clay fractions dominated by expanding 2:1 lattice clays (smectites and vermiculites). Most soils, though, in the eastern third of the United States are suited to radar applications; while in the west upland soils which are relatively

free of soluble salts are most suited to radar applications.

The potential for using GPR techniques is high in areas of coarse or moderately-coarse textured soils, areas of highly leached soils having low proportions of active clays or concentrations of soluble salts, or upland areas underlain by acid crystalline bedrock. Physiographically in the United States, the potential for using GPR techniques is highest in the Sea Island, Floridian and East Gulf Coast sections of the Atlantic Plain; in the Piedmont, Blue Ridge, Adirondack and New England provinces of the Appalachian Highlands; the Superior Uplands; and in the Sierra-Cascade Mountains and Pacific Border Province of the Pacific Mountain System. The potential for radar applications is also high in isolated upland areas such as the Black Hills, Sand Hills, Ozark Plateau, Rocky Mountain System and Intermontane Plateau.

Ground-penetrating radar techniques can be successfully applied in most areas of some countries in the world and in some areas of all countries. Countries having portions of the aforementioned soil properties will realize the best results, fullest use, and the most diversified range of GPR applications.

## REFERENCES

- Asmussen, L.A., H.F. Perkins and H.D. Allison. 1986. Subsurface descriptions by ground-penetrating radar for watershed delineation. Georgia Agricultural Experiment Stations Research Bulletin 340. Athens, GA.
- Beck, B.F. and W. L. Wilson. 1988. Interpretation of ground penetrating radar profiles in karst terrane. In Second Conference on Environmental Problems in Karst Terranes and Their Solutions Conference Proceedings. Nashville, TN.
- Collins, M.E., G.W. Schellentrager, J.A. Doolittle and S.F. Shih. 1986. Using ground-penetrating radar to study changes in soil map composition in selected histosols. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50:408-412.
- Collins, M.E. and J.A. Doolittle. 1987. Using ground-penetrating radar to study soil microvariability. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51:491-493.
- Collins, M.E., J.A. Doolittle, and R.V. Rourke. 1989. Mapping the depth to bedrock on a glaciated landscape with ground-penetrating radar. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53:1806-1812.
- Collins, M.E., W.E. Puckett, G.W. Schellentrager, and N.A. Yust. 1990. Using GPR for the micro-analyses of soils and karst features on the Chiefland Limestone Plain in Florida. *Geodema*. In Press.
- Doolittle, J.A. 1982. Characterizing soil map units with the ground-penetrating radar. *Soil Survey Horizons*, Vol. 23, No. 4:3-10.
- Doolittle, J.A. 1983. Investigating histosols with ground-penetrating radar. *Soil Survey Horizons*, Vol. 24, No. 3:23-28.
- Horton, K.A., R.M. Morey, R.H. Beers, V.J. Jordan, S.S. Sandler and L. Isaacson. 1982. An evaluation of ground-penetrating radar for assessment of low level nuclear waste disposal sites. U.S. Nuclear Regulatory Commission. Report No. NUREG/CR-2212.
- Johnson, R.W., R. Glaccum and R. Wojtasinski. 1979. Applications of ground-penetrating radar to soil survey. *Soil Crop Sci. Soc. Fla. Proc.* 39:68-72.
- Kaniuka, R. 1987. Underground channels mapped by radar. In *Agricultural Research, USDA-ARS Vol. 35:14-15*.
- Olhoeft, G.R. 1986. Direct detection of hydrocarbons and organic chemicals with ground penetrating radar and complex resistivity. In *Proc. of the National Water Well Assoc. Conf. on Petroleum Hydrocarbons and Organic Chemicals in Ground Water*. Nov., 1986 Houston, TX.
- Olson, C.G. and J.A. Doolittle. 1985. Geophysical techniques for reconnaissance investigations of soils and surficial deposits in mountainous terrain. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49:1490-1498.
- Puckett, W.E., M.E. Collins and G.W. Schellentrager. 1990. Design of soil map units on a karst area in west central Florida. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54:1068-1073.
- Schellentrager, G.W., J.A. Doolittle, T.E. Calhoun and C.A. Wettstein. 1988. Using radar to update soil survey information. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52:746-752.

- Shih, S.F. and J.A. Doolittle. 1984. Using radar to investigate organic soil thickness in the Florida Everglades. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48:651-656.
- Shih, S.F., J.A. Doolittle and G.W. Schellentrager. 1985. Sampling design for radar application in the Everglades agricultural area. *Soil Crop Soc. Fla. Proc.* 44:199-203.
- Shih, S.F., D.L. Myhre, G.W. Schellentrager and J.A. Doolittle. 1985. Using radar to improve soil salinity management. Paper No. 85-2611. American Society of Agricultural Engineers.
- Shih, S.F., J.A. Doolittle, D.L. Myhre and G.W. Schellentrager. 1985. Using radar for groundwater investigation. *J. Irr. Drain. Eng.* 112:110-118.
- Truman, C.C., H.F. Perkins and L.E. Asmussen. 1986. Using ground-penetrating radar to investigate variability of selected soil properties. *Agronomy Abstracts* 1986:236.

Table 1. Conductivities and dielectric constants for selected material.

Material	Approximate Electrical Conductivity (dS/m)	Approximate Dielectric Constant	Rate (ns/m)
Air	0	1	0.61
Water	$10^{-3}$ to $3 \times 10^{-1}$	81	5.5
Sea Water	40 to 50	81 to 88	5.5 to 5.8
Ice	$10^{-3}$ to $10^{-1}$	4	1.2
Sea Water Ice	$10^{-1}$ to 1	4 to 8	1.2 to 1.7
Ice (Glacial)	$10^{-1}$ to $10^{-3}$	3.2	1.1
Permafrost	$10^{-4}$ to $10^{-1}$	4 to 5	1.2 to 1.4
Sand (Dry)	$10^{-6}$ to $10^{-2}$	4 to 6	1.2 to 1.5
Sand <sup>a</sup>	$10^{-3}$ to $10^{-1}$	30	3.3
Silt <sup>a</sup>	$10^{-2}$ to $10^{-1}$	10	2.0
Clay <sup>a</sup>	1 to 10	8 to 12	1.7 to 2.1
"Average" Soil	$10^{-3}$ to $10^{-1}$	16	2.1 to 2.7

<sup>a</sup> Fresh water saturated

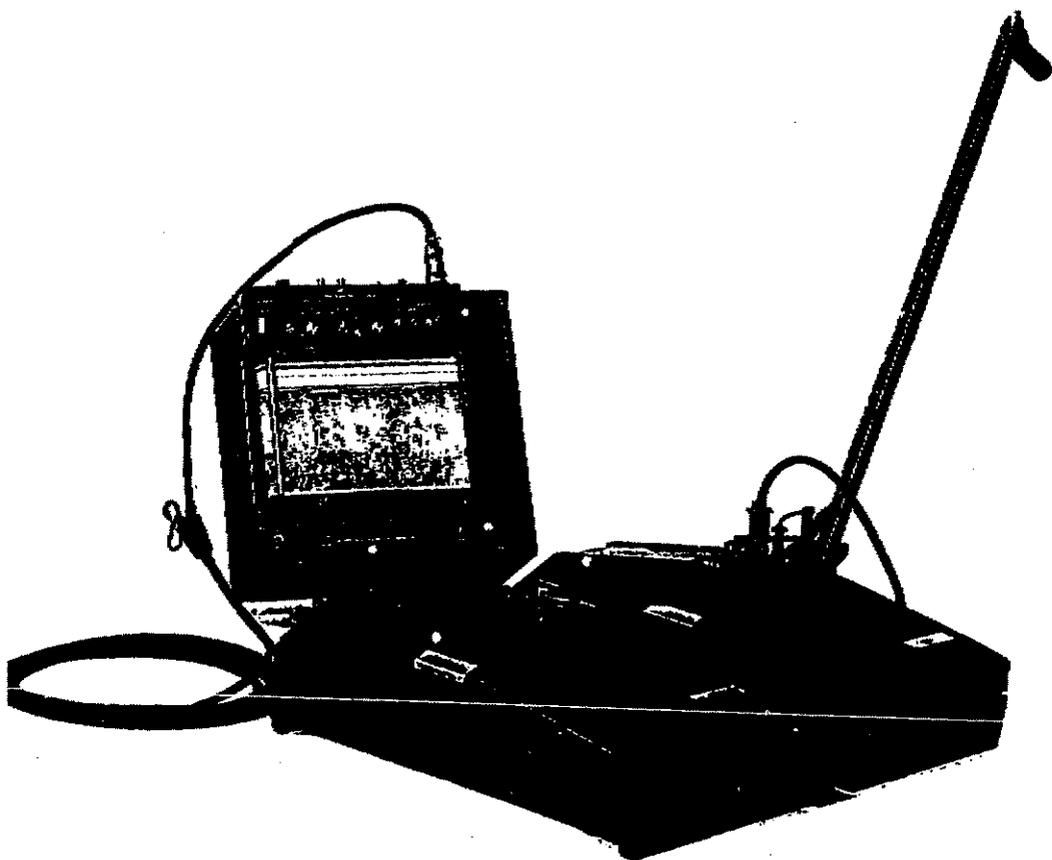
From: Johnson et al., 1979.

Table 2. Comparisons of GPR with Conventional Transect Methods.

	<u>Conventional</u>	<u>GPR</u>
No. of Transects	270	334
No. of Soil Scientists	5	2
Total Soil Scientist-hours	1000	400
Transect/Soil Scientist-hour	0.27	0.84
Total Cost <sup>a</sup>	\$16,000	\$5,900
Cost per transect	\$60.00	\$18.00

<sup>a</sup> Does not include equipment costs.

From: Doolittle, 1982.



**Fig. 2. The SIR System-3: profiling recorder with 300 MHz antenna and cables. Photo courtesy of Geophysical Survey Systems, Inc.**



**Fig. 1.** The SIR System-8: rack mounted control unit, graphic recorder, and tape recorder (background). Dual 500 MHz antenna operation with cables (foreground). Photo courtesy of Geophysical Survey Systems, Inc.

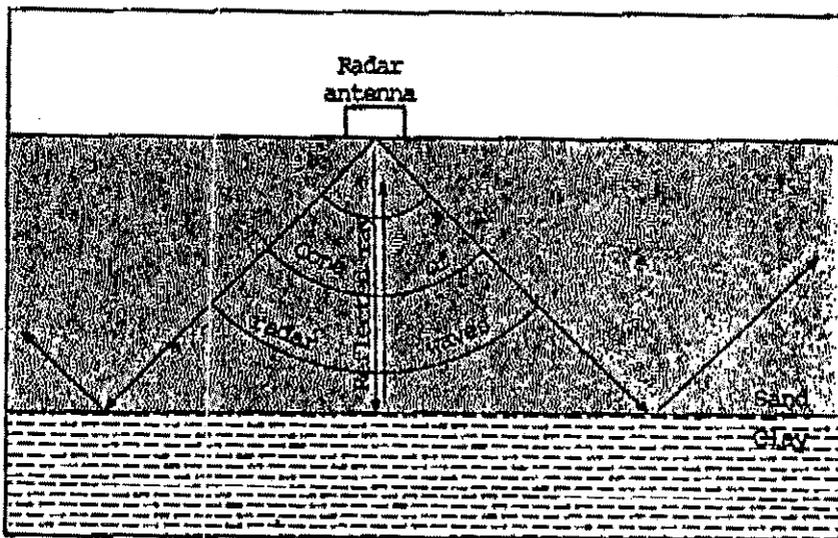


Fig. 3. Schematic diagram showing the  $90^{\circ}$  cone of radar waves and the single ray reflected from a planar interface. (Source: Beck and Wilson, 1988)

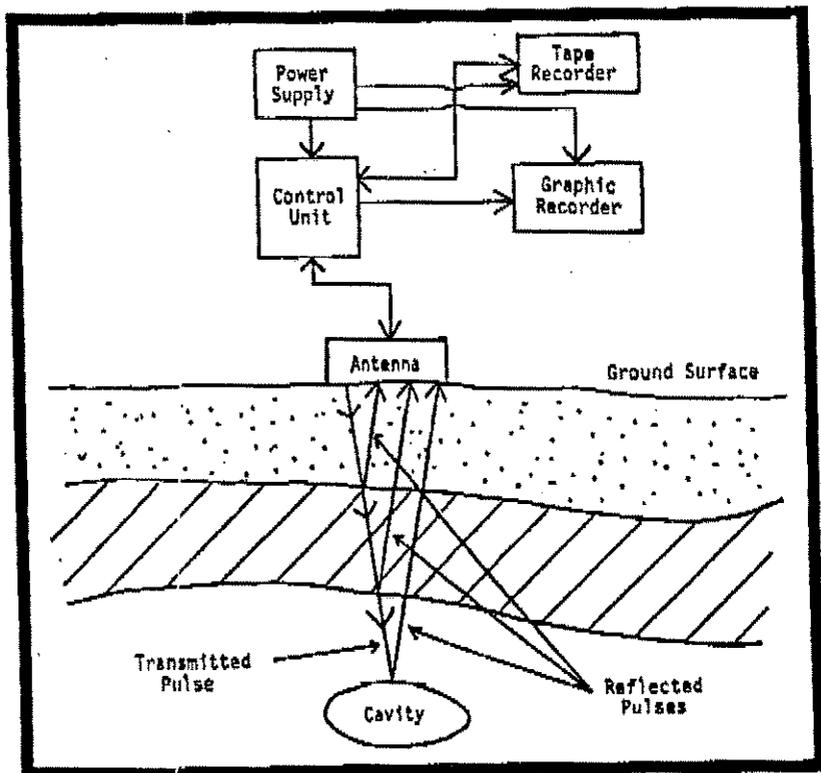
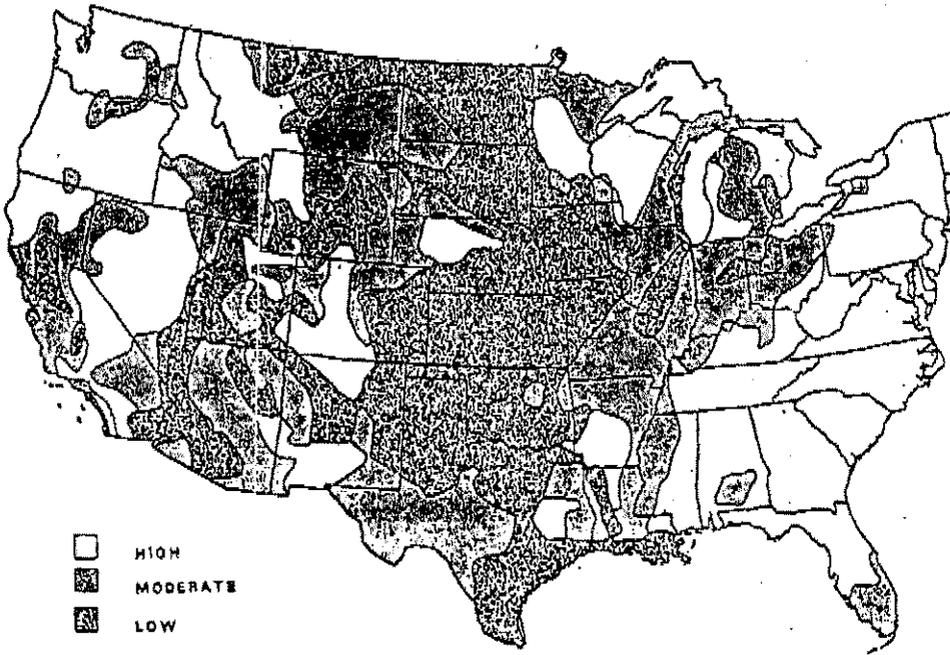


Fig. 4. Functional diagram of GPR equipment and radar reflections in the subsurface. (Source: Beck and Wilson, 1988).



DEPTH TO BEDROCK IN AN AREA OF CHAHLTON, CHATFIELD, AND HOLLIS SOILS

Fig. 5. Example of the graphic profile.



**Fig. 6. Potential for GPR soils interpretation in the United States.**

# LA ENSEÑANZA EN EDAFOLOGIA ASISTIDA POR VIDEO Y ORDENADOR

C. Dorronsoro

Con la llegada de las nuevas tecnologías informáticas se ha producido un cambio radical en los usos y costumbres de nuestra sociedad. La omnipresencia de las imágenes en nuestra vida cotidiana es tal que resulta ya un tópico hablar de la revolución que ha supuesto la TV, el vídeo y el ordenador personal. El poder de estas tecnologías es tan grande que resulta evidente que las técnicas educativas no deben permanecer ajenas a su utilización. Así, ya en 1913 Thomas Edison indicaba que "los libros se volverán pronto obsoletos en las escuelas.... Los estudiantes serán en breve instruidos a través de las imágenes.... Es posible explicar cualquier rama del conocimiento a través de las imágenes animadas.... Nuestros sistemas educativos cambiarán completamente en los próximos diez años."

No obstante en lo que comienza a llamarse en los Estados Unidos como Universidad Electrónica se observa un desarrollo muy desigual en las distintas áreas del conocimiento, y concretamente en nuestro campo pensamos que es muy poco lo que se ha hecho. Esta es una circunstancia que debemos de considerar pues, sin olvidar que estamos ante una rama de las ciencias naturales y por tanto, con unos métodos de estudio "naturalistas", no debemos por ello subvalorar las enormes posibilidades que presenta la enseñanza de los suelos y su medio ambiente a través de "imágenes enlatadas". Es innegable que situaciones de difícil acceso por su distancia en el espacio o en el tiempo, o experimentos y técnicas laboriosas, o que conllevan unos altos costos, pueden ser archivados en imágenes para que una vez organizadas constituyan documentos de alto impacto visual.

## I. VIDEO EDUCATIVO

La utilización del vídeo en la enseñanza se ha orientado bajo tres puntos de vista: visionado de documentos, análisis de las reacciones de los alumnos frente a los métodos educativos empleados, y producción de programas de vídeo por los propios alumnos. De estas tres actividades, pensamos que la más importante, en nuestro caso, es la primera y es, por tanto, la única a la que nos vamos a referir.

La información contenida en un videocasete puede ser de eficaz ayuda para un docente en base a su accesibilidad, versatilidad y su capacidad de reclamo:

- Accesibilidad. El documento puede ser visionado individualmente en cualquier momento y en cualquier sitio (basta disponer de un magnetoscopio y de su televisor correspondiente).

- Versatilidad. En general, en cualquier proceso de transmisión oral se produce una pérdida de información. En el caso del visionado de un videocasete, el alumno puede modificar el ritmo de la exposición según su receptibilidad, pudiendo repetir (e incluso ralentizar)

determinadas secuencias cuantas veces sea necesario.

- Capacidad de reclamo. Parece estar suficientemente comprobado que el alumno asimila mucho mejor una información si esta se presenta bajo una forma que le es familiar. Por otra parte el manejo de tecnología moderna despierta también su interés.

### Áreas de utilización

La ayuda que supone la utilización del vídeo se puede desarrollar en diversas áreas de la enseñanza:

**1.- Lecciones teóricas.** Para las clases teóricas hemos obtenido muy buenos resultados utilizando cortas secuencias de unos 2-3 minutos de duración intercaladas a lo largo de las explicaciones (lo que podríamos denominar como diapositivas animadas). Este método es muy operativo, ya que por un lado este corto tiempo resulta ser ideal para conseguir la máxima concentración del alumnado, y por otra parte es muy fácil disponer de estos breves documentales; efectivamente, si utilizamos nuestros propios reportajes, dada su brevedad, son muy fáciles de producir, y si por el contrario hacemos uso de documentales científicos comerciales resulta difícil que el guión en su totalidad se adapte exactamente a lo que cada docente quiere transmitir, pero seguramente sí que se encontrarán determinados pasajes de gran impacto visual, que demuestren exactamente algo de lo que desea transmitir.

**2.- Seminarios.** Para aquéllos temas en los que se desee profundizar en su conocimiento, o simplemente como complemento (o incluso repetición) de las explicaciones teóricas, el disponer de videocasetes adecuados puede ser de gran utilidad.

La gran dificultad que se le presenta al docente a la hora de conseguir buenos documentales específicos, obliga a la creación de documentos propios. Así en este sentido nosotros estamos actualmente grabando imágenes para tratar de producir un documental que demuestre de manera inequívoca los cambios y procesos que se producen en el paso de una roca a un suelo, y para un futuro próximo deseáramos disponer de otros documentales sobre aspectos de especial interés, como serían, por ejemplo, la erosión del suelo, la acción de cada uno de los factores formadores, la morfología del suelo, sus constituyentes, el comportamiento del agua en el suelo, etc.

**3.- Lecciones prácticas.** La grabación en vídeo de las explicaciones teóricas sobre el fundamento e interés de cada clase práctica, así como el procedimiento, paso a paso, del método a desarrollar, puede facilitar en gran medida la labor docente del profesorado; ya que por un lado, libera a este de la repetición de las explicaciones a los numerosos grupos de prácticas, y por otro lado, se consigue igualar los niveles de conocimientos transmitidos a los distintos grupos (a los cuales muy posiblemente les puede haber correspondido distinto profesorado).

**4.- Aprendizaje de técnicas.** En este campo el vídeo puede ser especialmente útil.

Por ejemplo, nosotros hemos encontrado, desde siempre, en la enseñanza de la técnica del microscopio petrográfico una extrema dificultad en conseguir que el alumno observara a través del ocular del microscopio lo que le estábamos indicando. Precisamente para solventar esta grave dificultad hemos confeccionado una serie de vídeos que explican tanto los conceptos teóricos como la propia técnica de utilización de las distintas propiedades ópticas empleadas para la caracterización de los minerales. La utilización de estos videocasetes en las clases de microscopía nos ha permitido iniciar a los alumnos en esta difícil técnica con unos resultados muy brillantes

De indudable utilidad sería sin duda el poseer un videocasete sobre el estudio micromorfológico del suelo, tanto en su aspecto meramente descriptivo como en lo referente al aporte de la micromorfología a la comprensión de la génesis de los suelos.

**5.- Reciclado.** El vídeo también puede ser utilizado para sintetizar de una manera atrayente los últimos logros de la cada ciencia.

### Producción de documentos audiovisuales

La producción de todo documento audiovisual requiere de cuatro fases sucesivas. En una primera etapa se diseña el guión audio/vídeo, después se grabaran las imágenes y el sonido, su ensamblaje final será objeto de la tercera fase y por último se obtendrán las correspondientes copias.

**Fase 1. Elaboración del guión audio/vídeo.** En esta primera fase se han de fijar los objetivos concretos que se buscan, habrá también que delimitar exactamente los contenidos, elaborar el correspondiente guión y finalmente diseñar las imágenes sobre las que se va a desarrollar el informe científico. A esta última parte hay que dedicarle una especialísima atención, ya que constituye la esencia del mensaje audiovisual. Las imágenes deben mostrar y demostrar lo que queremos expresar. Al elaborar un documental científico de este tipo, deberemos de tender al documental ideal en el cual la parte audio es simplemente reiterativa de la trama visual y su única misión es la de facilitar la asimilación del mensaje y fijar la atención del espectador.

**Fase 2. Captación de las imágenes y el sonido.** Hasta aquí hemos venido hablando exclusivamente de la cinta de videocasete pero indudablemente existen otros soportes que también son válidos para su utilización a nivel docente como son: filminas (o diapositivas) acompañadas de cintas de magnetofon, cine, TV en circuito cerrado, videodisco y ordenador personal.

Todos ellos reportan ventajas e inconvenientes (Figura 1), pero por muchas razones (versatilidad, obtención instantánea de las imágenes, sencillez de edición, bajo coste del casete, duplicación de cintas, facilidad y maniobrabilidad del visionado, bajo deterioro de las cintas...) nos inclinamos en estos momentos por el videocasete para aquellos documentos que

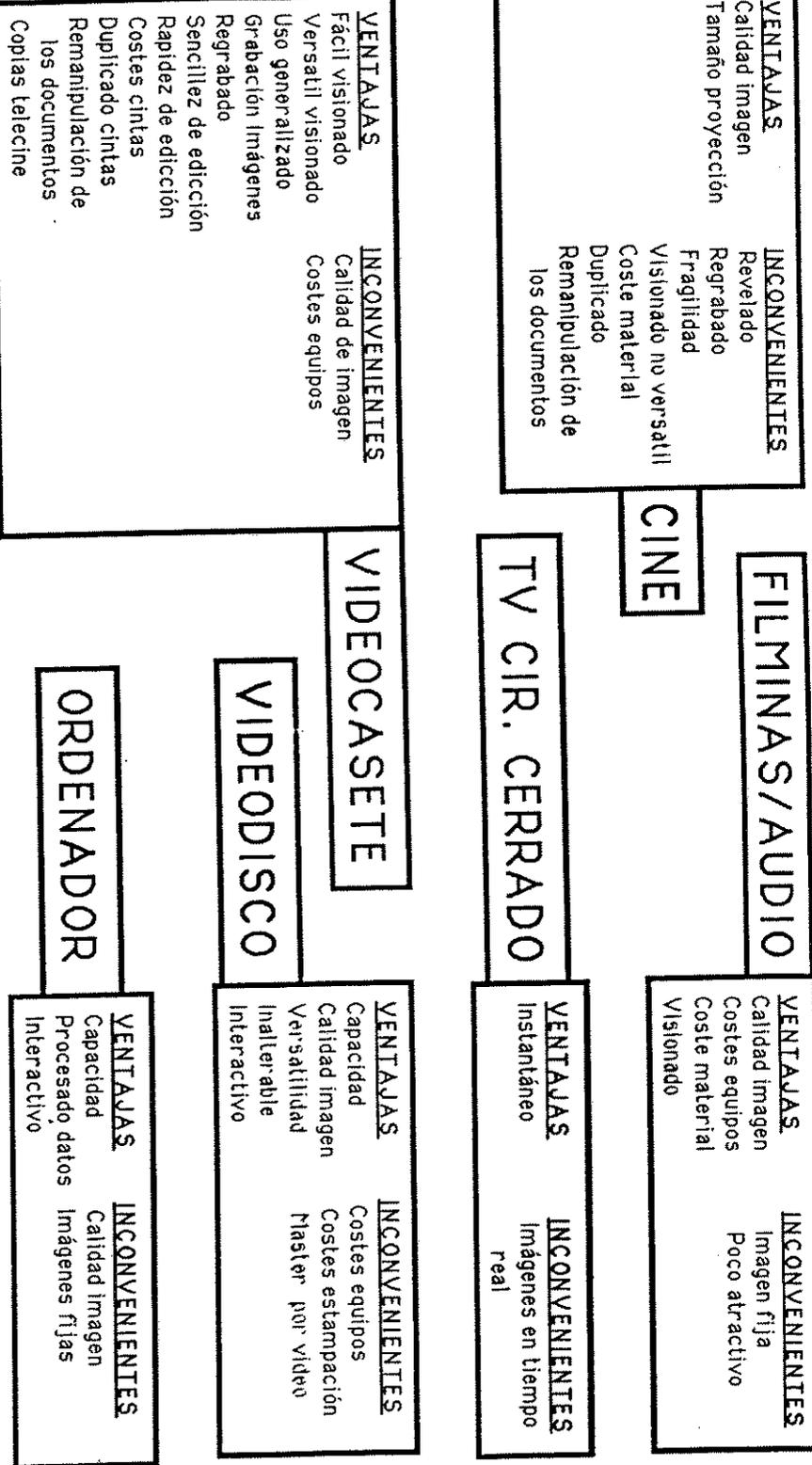


FIGURA 1.- Características principales de los diferentes soportes

necesiten imágenes en movimiento; si bien en un futuro próximo, si el videodisco consigue rebajar sus altos costes de estampación, este sistema se impondrá con toda probabilidad al videocasete por sus innegables ventajas (definición, capacidad de almacenamiento, accesibilidad inmediata a cualquier punto del disco, inalterabilidad, versatilidad del visionado ...).

En lo referente al uso exclusivo del ordenador, como veremos en la última parte de este escrito, representa un equipo ideal para cuando solo se requiera de imágenes fijas.

En la elección de un equipo de producción en vídeo, lo primero que hay que decidir es el sistema de vídeo a utilizar. Para un docente, la elección será hacia un equipo lo mas sencillo y mas económico posible pero que proporcione un documento final de una aceptable calidad técnica. Los sistemas de vídeo se acostumbran a clasificar en tres grupos: el vídeo profesional, típicamente en formato de bobinas abiertas, con anchuras de cinta de 1 a 2 pulgadas; el industrial, usualmente, con cassetes de 3/4 de pulgada; y el doméstico de cassetes de 1/2 pulgada. De ellos, para un departamento universitario el sistema idóneo sin duda es el formato industrial, que ofrece aceptable calidad a unos costes asequibles. Dentro de este estándar, el sistema U-Matic se ha impuesto como sistema universal y es el que nosotros utilizamos en el Departamento de Edafología de la Universidad de Salamanca, no obstante, acaban de aparecer los sistemas SuperVHS-industrial y el Hi8, que han sido diseñados para tratar de quitarle la hegemonía al sistema U-Matic en este campo y que por la alta calidad de las imágenes que proporcionan, junto a la ligereza y maniobrabilidad de las cámaras grabadoras (camcorders), estos sistemas parecen tener un prometedor futuro.

**Fase 3. Montaje y edición.** En esta etapa es donde se materializa el producto final mediante el ensamblaje de las imágenes elegidas y su acoplamiento con la parte audio de la narración.

Para su realización se necesitan al menos de un magnetoscopio preeditor que proporciona las imágenes y un magnetoscopio editor que las graba y las sincroniza con el sonido. Ambos magnetoscopios se controlan a través de una consola de edición que permite un perfecto sincronismo. Especialmente útil en esta fase es la tituladora y el generador de efectos especiales que posibilitan la superposición de rotulos, gráficos, encadenar imágenes, comparar imágenes y otra serie de efectos que mejoran sensiblemente el rendimiento didáctico de los documentos.

Esta etapa es la que encarece el proceso de producción, ya que necesita de una inversión inicial considerable.

**Fase 4. Duplicado de copias.** El proceso de producción se termina con la obtención de las copias comerciales, generalmente en formatos domésticos, obtenidas por repicado del master original, para lo cual basta disponer de varios magnetoscopios que graban las imágenes que reproduce el magnetoscopio principal.

En resumen, si bien el sistema de producción en vídeo se caracteriza por su extraordinaria sencillez y rapidez, no debemos de olvidar que cualquier secuencia de un documento de este tipo requiere un largo proceso de elaboración (diseño, filmación, selección,

montaje y acoplamiento de audio), de tal manera que cada secuencia de un minuto de duración en el master de un vídeo educativo puede representar normalmente de 3 a 4 horas de trabajo. A esta extrema laboriosidad creemos que se le puede atribuir la escasez de buenos videocasetes educativos.

## II. VIDEO INTERACTIVO

El más grave inconveniente que presenta la enseñanza por vídeo es la actitud de pasividad que toma el alumno (el alumno se siente espectador y se dispone a "ver cine"). Esta postura tan negativa hay que evitarla haciendo que se sienta participe de lo que está ocurriendo delante de él. Por ello, la docencia se mejora notablemente si durante la exposición se plantean diversos interrogantes y se hacen preguntas que pueden quedar en el aire o ser solucionadas en las siguientes imágenes. Si se desea, la exposición puede ir acompañada de un cuestionario de observación, a rellenar por el alumno.

Igualmente, para estimular la actividad de alumnado, el videocasete se puede elaborar con una serie de sectores entrelazados con ramificaciones secuenciales muy diversas (Figura 2). Al término de cada secuencia, el alumno puede elegir, en un menú de pantalla, entre una serie de opciones que estarán ubicadas en puntos concretos de la cinta y que han de ser muy fáciles de localizar en el magnetoscopio (lo cual no siempre es posible). De esta manera, el alumno puede manejar (dentro de ciertos límites) la información contenida en la cinta en función de sus inquietudes y aptitudes.

Finalmente, el método interactivo alcanza su máxima operatividad cuando el equipo de visionado de imágenes (videocinta o videodisco) se controla a voluntad mediante un ordenador personal (Figura 3). Con este sistema el alumno puede manejar la información mediante el ordenador en función de sus preferencias y necesidades, obteniéndose así un método de aprendizaje de espectaculares rendimientos (Currier, 1983; Alessi, 1984; Butcher, 1986; Chordi et al., 1989). En la figura 4 mostramos un esquema de trabajo típico de estos sistemas interactivos.

## III. ORDENADOR PERSONAL

Hasta ahora, los sistemas educativos que utilizaban imágenes de calidad fotográfica necesitaban obligatoriamente del auxilio de equipos de vídeo (en cinta o en disco). La utilización de estos equipos colleva unas dificultades que impiden su amplia difusión (extrema lentitud de las búsquedas en el caso de las cintas de vídeo o los altísimos costes de estampación para el caso del videodisco).

Recientemente, los avances alcanzados en la digitalización de las imágenes de colores reales, han posibilitado la utilización del ordenador para elaborar imágenes de alta calidad, por lo que hoy día el sistema audiovisual interactivo puede reducirse a un simple ordenador dotado de su correspondiente monitor TV que ha de incorporar una tarjeta gráfica y

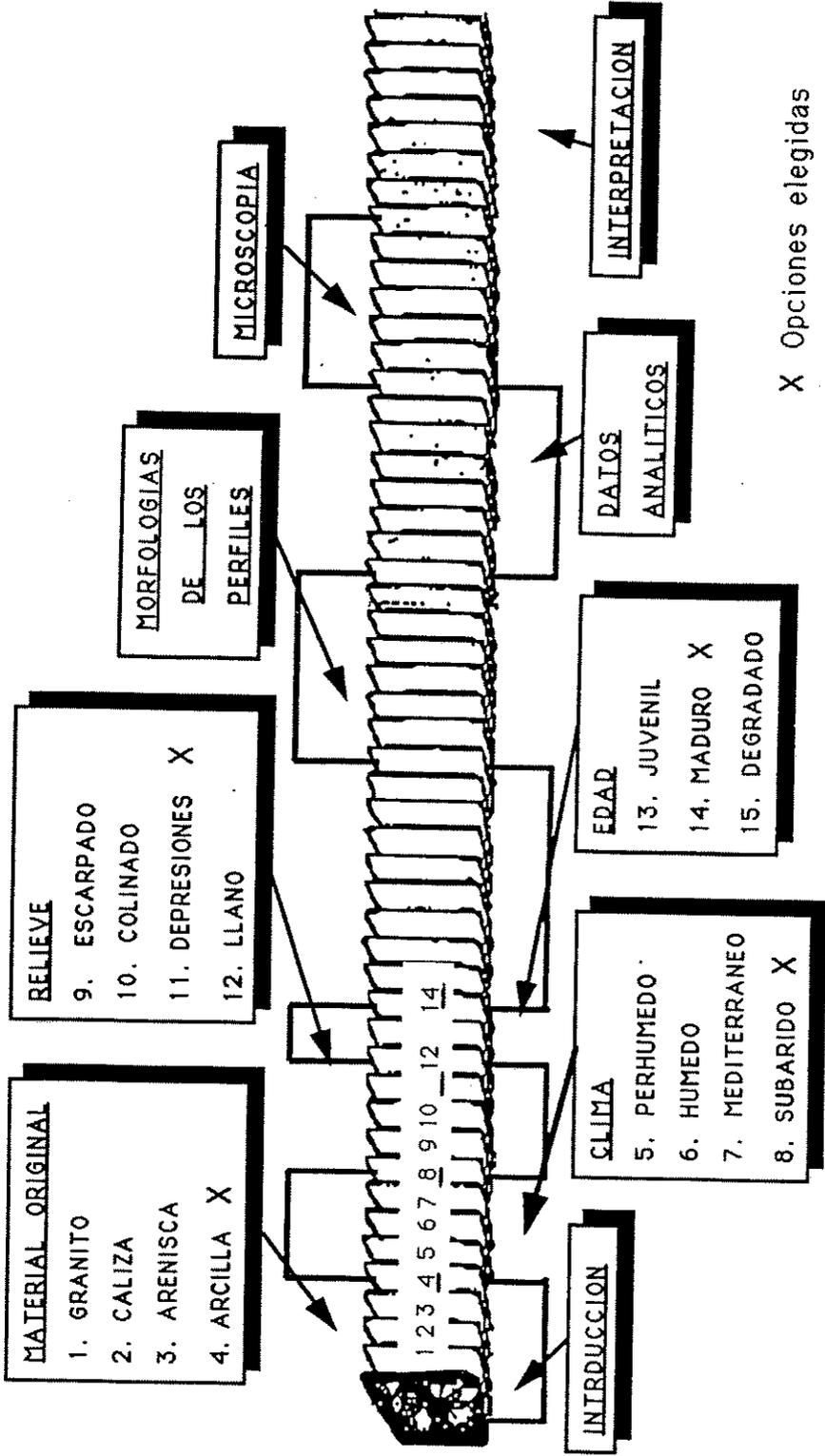


FIGURA 2.- Vídeo elaborado de una manera ramificada para proporcionar cierto grado de interactividad.

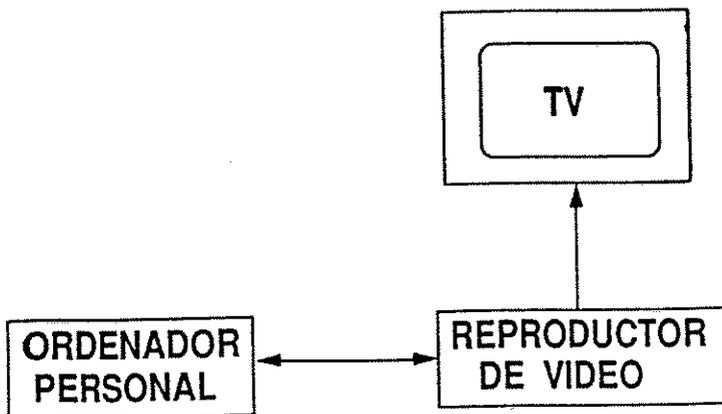


FIGURA 3.- Sistema de vídeo interactivo.

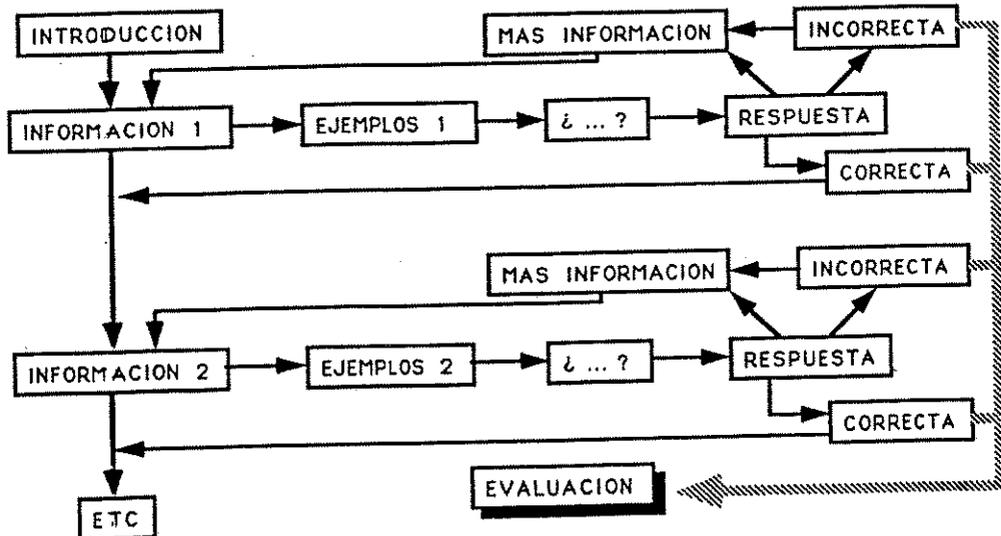


FIGURA 4.- Esquema de un documento de vídeo interactivo.

además necesitaremos de una tarjeta digitalizadora y una cámara TV o un scanner (si bien este equipo no es todavía operativo para aquellos trabajos que requieran secuencias de imágenes animadas, dada la inmensa memoria que se necesitaría en estos casos).

La aplicación del ordenador al sistema educativo logra sus máximos resultados cuando el profesor puede diseñar sus propios programas, para que así se adapten plenamente al programa educativo que imparte. Hoy día, la función del profesor-programador puede realizarse muy fácilmente gracias a los lenguajes de autor que posibilitan el acceso a complicadas maniobras informáticas sin más que dictar unas simples órdenes. En este sentido, nosotros nos encontramos en estos momentos elaborando dos programas específicos (en lenguaje HyperCard con un ordenador Macintosh) que nos permitan incorporar el ordenador como complemento importante de nuestro proyecto docente.

Este método creemos que reúne las tres propiedades esenciales del videocasete (accesibilidad, versatilidad y capacidad de reclamo) y además proporciona una total interacción (y todo ello con un equipo tan experimentado en nuestros días como es el ordenador personal).

La elaboración de un programa de ordenador con fines didácticos necesita de dos etapas. En una primera fase, de manera similar a la producción de un videocasete, se han de fijar los objetivos concretos que se persiguen, después se delimitarán los contenidos y se desarrollará la correspondiente estrategia docente y por último en la segunda fase se materializará el documento en el correspondiente programa informático.

En un primer programa (que es el que mostramos en esta Reunión Nacional) tratamos sobre morfología de perfiles y clasificación de suelos (Figura 5). Consta de tres subprogramas que se han diseñado como etapas sucesivas de aprendizaje.

Con el primer subprograma pretendemos enseñar a distinguir los horizontes dentro del perfil. Para ello en una primera fase se muestra, junto a una foto del perfil, una tabla en la que se resumen los principales rasgos morfológicos y analíticos de un hipotético muestreo realizado de una manera sistemática cada 10cm de profundidad. El alumno tendrá que definir los horizontes principales que presenta el suelo en base a la homogeneidad/heterogeneidad de las características de los niveles próximos. En una segunda opción se muestran las fotos de los perfiles para que se elijan los puntos muestrales en cada suelo para obtener un muestreo correcto (localización del mínimo número de muestras necesarias para que queden bien representados todos los horizontes del suelo).

En el segundo subprograma habituamos al alumno a desarrollar una clasificación rápida del suelo, basándose en un mínimo número de datos (fundamentalmente los que se obtienen en el estudio de campo) y por ello se llegará aquí solo a una clasificación tentativa, a confirmar posteriormente con los datos del laboratorio.

Se ha establecido dos niveles de dificultad. En el nivel bajo, se reproduce junto a la fotografía del perfil, una tabla de datos representativos de los distintos horizontes presentes en cada suelo y se ha de diagnosticar el tipo de horizontes principales y diagnósticos y finalmente la clase de suelo (según FAO) que más probablemente pueda corresponder al analizado. En el nivel alto, los objetivos son los mismos pero ahora los datos han de ser solicitados por los propios alumnos en los lugares adecuados del perfil.

En el subprograma tres se presenta un estudio exhaustivo del suelo. El usuario

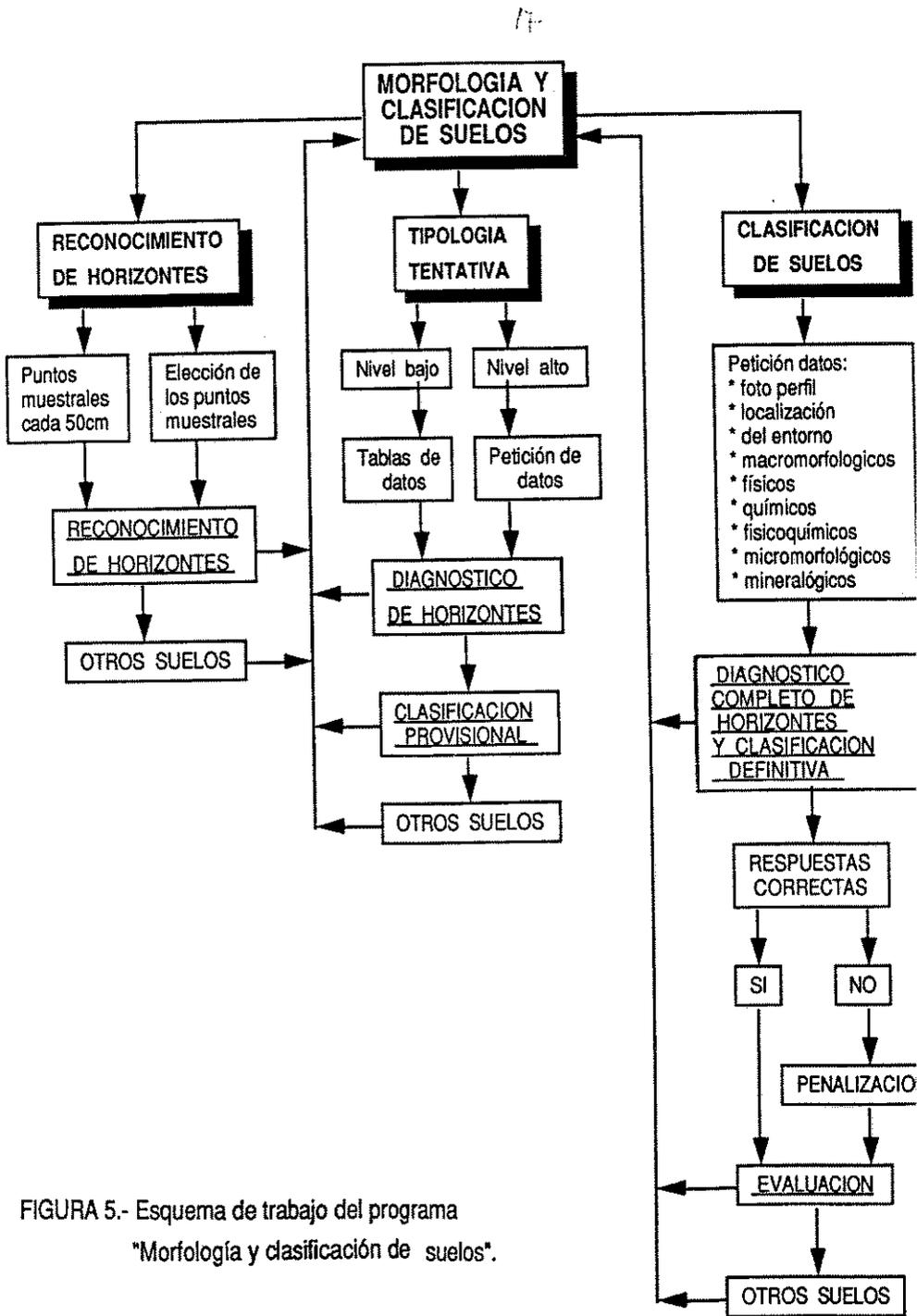


FIGURA 5.- Esquema de trabajo del programa "Morfología y clasificación de suelos".

dispone, además de la foto del perfil, de datos e imágenes de: localización, del entorno (roca, clima, relieve,...), macromorfológicos, físicos, químicos, fisicoquímicos, micromorfológicos y mineralógicos. Tras el estudio de las pantallas de datos solicitadas, el alumno ha de definir los horizontes presentes (principales, transiciones, mezclas, letras subfijos, discontinuidades y horizontes diagnósticos) y finalmente clasificar al suelo.

Este subprograma es autoevaluador, de manera que está programado para que el alumno emita una respuesta concreta a cada pregunta. Si la respuesta no es la correcta el ordenador otorga una penalización y pasa a la siguiente pregunta a la vez que muestra la respuesta adecuada en cada caso.

En el segundo programa que estamos elaborando "SUELOS DE SALAMANCA" se pretende mostrar las características y procesos de formación de los suelos de esta provincia castellana. Para ello se ha dividido la región en siete grandes zonas, definidas por una determinada combinación de factores formadores (rocas sedimentarias, pizarras y granitos; relieves suaves y escarpados; precipitaciones escasas, moderadas y fuertes; cultivos intensivos, encinas, robles y pinos). En la zona elegida por el alumno se puede conocer las características y procesos de formación de los suelos que se seleccionen en pantalla sobre un paisaje representativo, y, según los casos, se puede manejar cronosecuencias y climosecuencias de gran valor didáctico.

## CONCLUSIONES

1.- En la enseñanza de la edafología existen numerosos aspectos que pueden ser mejor comprendidos si se utiliza el vídeo y el ordenador como técnicas auxiliares del docente.

2.- La extraordinaria facilidad y maniobrabilidad de estos sistemas, junto a la expresividad que estos medios proporcionan, originan un alto grado de aceptación por el alumnado, lo que repercute muy favorablemente en la asimilación de las enseñanzas.

3.- El videocasete representa un buen sistema para la presentación de documentales científicos, pero adolece de una importante falta de interactividad, favoreciendo que el alumno adopte una postura pasiva, muy negativa desde el punto de vista didáctico.

4.- El ordenador personal es considerado como un método ideal para cuando no se necesiten imágenes en movimiento. Proporciona una fácil y rápida elaboración de los documentos junto a un visionado extraordinariamente versátil, cómodo, atractivo y es sobretodo interactivo. La capacidad de almacenamiento y de manipulación de la información lo hacen especialmente idóneo para desarrollar una enseñanza muy personalizada y extraordinariamente eficaz. La posibilidad de autoevaluación que proporcionan estos equipos les confiere un alto grado de aceptación por el alumnado (Browning et al., 1986; Lehman, 1986; Bijlstra y Jelsman, 1988; Smith et al., 1986; Tejedor, 1989).

5.- En la situación actual, dada la escasa disponibilidad de documentos con contenidos netamente edafológicos, resulta imprescindible la producción de documentos propios. Habida cuenta, tanto el alto coste inicial necesario, como la dedicación tan absorbente que ello implica, así como las incompatibilidades existentes entre los diversos equipos, sería muy recomendable el desarrollo de un programa nacional de coordinación.

## REFERENCIAS

- ALESSI, S. M. 1984. Designing effective computer assisted instructions. *Am. Biol. Teach.* 46 (3), 145-151. BIJLSTRA, J. P. y JELSMAN, O. 1988. Some thoughts on interactive video as a training tool for process operator. *Prog. Learning and Educational Technology*, 25 (1), 28-33.
- BROWNING, P. et. al. 1986. Interactive video and the special classroom: a pilot study. *Computing Teacher*, 13 (4), 36-38.
- BUTCHER, P. G. 1986. Computing aspects of interactive video. *Computing Educ.*, 10 (1), 1-10.
- CHORDI, A. et. al. 1989. Las nuevas tecnologías y la formación en microbiología. *Soc. Esp. Microb.*, 149-165.
- CURRIER, R. L. 1983. Interactive videodisc. *Learning systems. High Technol.* 51-59.
- LEHMAN, J. D. 1986. Interactive video. A powerful new tool for science teaching. *J. Comp. Mathem. Sci. Teach.*, 5 (#), 24-29.
- SMITH, S. G.; JONES, L. L.; WAUGH, M. L. 1986. Production and evaluation of interactive videodisc lessons in laboratory instruction. *J. Cop. Based Inst.*, 13 (4), 117-121.
- TEJEDOR, C. 1989. Video interactivo y la simulación de técnicas microbiológicas. *Soc. Esp. Microbiol.*, 161/2.

Departamento B. A. E. P. y Edafología. Universidad de Salamanca

# ASPECTOS METODOLOGICOS DE LA CARACTERIZACION DE LA ACIDEZ DEL SUELO

Prof. Dr. D. J. M. Hernandez Moreno.  
Universidad de La Laguna.

## 1- Introducción

La acidificación del suelo es un proceso estrechamente relacionado con todos los aspectos de la producción agrícola. El desarrollo de nueva tecnología, la utilización de fertilizantes minerales, la introducción del laboreo, el aumento de la intensidad del cultivo y la reducción de los sistemas de barbecho pueden conducir fácilmente a la acidificación del suelo. Tanto es así, que el problema de la acidez no interesa ya sólo a los suelos ácidos zonales; por ejemplo, se ha convertido en un factor limitante de la productividad en los trópicos semiáridos (Pieri, 1987).

Por otra parte, en la última década, la investigación de los problemas relacionados con la acidificación en el medio ambiente ha recibido un enorme impulso. Sin duda, la causa hay que buscarla en el fenómeno de las lluvias ácidas en zonas industrializadas cuyos efectos se han dejado sentir en extensas zonas de bosques. Además del impacto directo en la vegetación, la acidez se transfiere al suelo y, de éste, a las aguas de escorrentía y drenaje con consecuencias ecológicas importantes.

Como ocurre con muchos temas de la Ciencia del Suelo, la acidez trasciende del ámbito agronómico y su metodología de estudio hay que situarla en el nuevo marco configurado por los estudios multidisciplinares de los ecosistemas y el refinamiento de las técnicas. Un tratamiento medianamente detallado de los aspectos metodológicos que exige actualmente el estudio de la acidez del suelo saldría fuera

de los límites de una Conferencia, por lo que, dentro de un esquema de puntos fundamentales, se destacará fundamentalmente los estudios recientes del comportamiento del aluminio en el suelo.

## 2- Necesidad de una nueva metodología

Actualmente se utilizan a nivel mundial diferentes métodos para medir los parámetros de interés particular en la acidez del suelo. Aparece un serio problema ya que no existe un "lenguaje común" disponible y, por lo tanto, es difícil la comparación de los grupos de datos.

Además del pH del suelo, cationes extraíbles, requerimientos de cal para cultivos específicos, etc., necesitan parámetros adicionales si se quiere tener un mayor conocimiento de las limitaciones que tiene la acidez para el crecimiento de las plantas. Estos deben incluir tanto los aspectos relativos a la variación de las características de los suelos ácidos como la determinación de especies y actividades iónicas en la solución del suelo. El Aluminio necesita una atención particular: Al cambio de estado y saturación de Al en el complejo de cambio se han utilizado ampliamente para conocer el estado del Aluminio, pero a menudo se han mostrado insatisfactorios, como veremos más adelante. El análisis de la solución del suelo puede ofrecer una aproximación más apropiada.

El desarrollo de una nueva metodología debe enmarcarse dentro de un sistema de actividades estructurado a nivel mundial. En este sentido, el Grupo de Trabajo B del IBSR (1987) da las siguientes recomendaciones para el estudio de la acidez del suelo a nivel internacional:

i. Alcanzar el estado actual de conocimiento sobre la acidez del suelo.

a - Apoyar la recopilación, examen y síntesis de la información disponible en el manejo de suelos ácidos, con énfasis en los experimentos más usuales (encalado, métodos tradicionales de "tala y quema")

b - Promover la consolidación e intercambio de información entre científicos.

ii. Desarrollar metodologías normalizadas para caracterizar la acidez del suelo en relación con el crecimiento de las plantas.

a - Apoyar el desarrollo y adopción de procedimientos estandar para determinar parámetros de la acidez del suelo: pH, cationes extraíbles, requerimientos de cal de cultivos específicos, evaluación general del estado de fertilidad.

b - Características de carga y determinación de especies y actividades iónicas en la solución del suelo.

c - Aluminio. La caracterización de las soluciones del suelo podría quizá ser más apropiada en la cuestión de si es la toxicidad del Al o la deficiencia de Ca quien limita el crecimiento de las plantas, o, en el caso de que ambas, bajo qué condiciones una supone mayor restricción que la otra.

d - Para desarrollar y adoptar procedimientos estandar, apoyar algunos laboratorios que estén bien equipados y tengan un alto control de calidad.

iii. Promover un programa experimental para mejorar la acidez del suelo.

a - Determinar las condiciones de manejo para los enmendantes del suelo.

b - Determinar las implicaciones del encalado en la nodulación de leguminosas, mineralización y nitrificación de la materia orgánica, etc.

c - Determinar prácticas de manejo cuando los materiales encalantes no estén disponibles: rotación de cultivos,

incorporación de materia orgánica, especies/cultivares tolerantes

iv - Desarrollar una metodología para caracterizar la adaptabilidad de las plantas a la acidez del suelo selección de especies y cultivares tolerantes.

### 3- Ensayos de suelos para el Al

Como en cualquier ensayo de suelo, los métodos de extracción y análisis deben ser capaces de determinar el Al biológicamente activo, reflejando asimismo la capacidad del suelo para mantener el suministro. En la literatura con respecto, se han comparado diferentes métodos de extracción para determinar si existía una

relación consistente entre ellos, presumiblemente sobre la premisa de que podrían extraer Al de reservorios específicos. Los métodos se han comparado también de acuerdo con su capacidad para predecir los requerimientos de cal.

Los métodos más comunes para extraer el Al del suelo utilizan KCl 1N y  $\text{NH}_4\text{Ac}$  1M. El Al extraído con estas disoluciones se denomina respectivamente Al cambiante y Al extraíble. También existen métodos de medida de la acidez total del suelo utilizando soluciones tampón y medidas de  $\text{pH}$  (Kamprath, 1978). Recientemente, la extracción de Al por cloruros de Ca, La y Cu ha recibido mucha atención (Hoyt Nyborg, 1971; Bloom et al., 1979a; Juo y Kamprath, 1979; Hargrove y Thomas, 1981a, 1984). Las limitaciones del Al cambiante y extraíble para medir el factor intensidad capacidad del Al biológicamente activo quedan ilustradas por los resultados contradictorios obtenidos. Así, se ha encontrado que las cantidades de Al extraídas mediante  $\text{NH}_4\text{Ac}$  1M son mayores (Gakhmani, 1977), similares (McLean, 1961) y menores (Pratt y Blair, 1961) que las extraídas con KCl 1N. También se ha considerado que el porcentaje de saturación de Al tendría que estar relacionado con el nivel

de Al en la solución del suelo (Nye et al., 1961; Evans y Kamprath, 1970; Adams y Moore, 1983).

Es difícil reconciliar estos resultados ya que la cantidad de Al extraído por diferentes disoluciones depende del pH, tipo de catión y concentración de la disolución, así como de su capacidad amortiguadora relativa a la del suelo (Bloom et al., 1979; Dates y Kamprath, 1983).

Otro problema de los ensayos de suelos para el Al es su incapacidad para predecir el crecimiento de las plantas y los requerimientos de cal, incluso cuando no existen confusiones con toxicidades de Mn o  $H^+$ , o deficiencias en Ca y P. El Al cambiante y el porcentaje de saturación de Al parecen ser mejores índices de predicción de la respuesta de los cultivos al encalado que el pH del suelo (Kamprath, 1970; Reeve y Sumner, 1970; Juo, 1977; Webber et al., 1982). Sin embargo, no son indicadores fiables en una amplia variedad de tipos de suelos y condiciones ambientales.

Por ejemplo, Adams y Moore (1983) y Bromfield et al., (1983) no encontraron relación consistente entre el rendimiento de los cultivos y el Al cambiante o el porcentaje de saturación de Al. Consecuentemente, la incapacidad de los métodos sencillos, como el Al cambiante, para predecir la toxicidad del Al o extraer consistentemente Al de las reservas biológicamente activas ha conducido a los investigadores a considerar más detenidamente la retención del Al por la materia orgánica y el comportamiento del Al en la solución del suelo.

La complejación del Al por la materia orgánica parece ser una de las causas mayores de las inconsistencias antes apuntadas. En determinadas circunstancias, la complejación con la materia orgánica reduce la concentración de Al en la solución, por lo que la toxicidad Al no limita el crecimiento de la plantas, incluso en suelos muy ácidos (Thomas, 1975; Hargrove y Thomas, 1981b). Los efectos de la materia orgánica en el Al soluble y cambiante pueden ser muy

diferentes. Al comparar diferentes suelos, Evans y Kamprath (1970) encontraron un aumento general del Al soluble y una disminución del Al cambiante al disminuir los contenidos en materia orgánica. Juo (1977) observó la tendencia opuesta al comparar diferentes horizontes del mismo suelo. En estudios más detallados, Thomas (1975) y Hargrove y Thomas (1981) observaron que la variación de Al cambiante con el contenido de materia orgánica depende del pH y del nivel de materia orgánica, existiendo una disminución del Al cambiante al aumentar la materia orgánica, más pronunciada a valores bajos de pH y niveles bajos de materia orgánica.

Aparentemente, el Al unido a la materia orgánica no se extrae con KCl 1N, pero es capaz de reaccionar con la cal (Juo y Kamprath, 1979; Hargrove y Thomas, 1981a, 1984). En este sentido, Hoyt (1977) observó que en suelos de pH similar, incluso al disminuir el Al cambiante al aumentar el contenido de materia orgánica, se producía un aumento concomitante de acidez cambiante debido a la capacidad amortiguadora del Al complejado con la materia orgánica.

Se ha encontrado que los cloruros de La y Cu son capaces de extraer el Al complejado con la materia orgánica (Bloom et al, 1979b; Juo y Kamprath, 1979b; Hargrove y Thomas, 1981b, 1984) así como Al interlaminar de las esmectitas, por lo que estos reactivos podrían representar una medida más adecuada del Al biológicamente activo. Posteriormente, Oates y Kamprath (1983b) han sugerido que el  $\text{CuCl}_2$  puede no ser adecuado para determinar la toxicidad de Al en suelos encalados debido a que aparentemente disuelve hidróxido de Al recién precipitado. Estos autores encontraron que el menor requerimiento de cal predicho por  $\text{LaCl}_3$  fue suficiente para reducir el porcentaje de saturación de Al a menos de 15 en todos los suelos estudiados, mientras que con KCl sólo se logra una reducción semejante en suelos sin Al orgánico.

## 4- Especiación del Al acuoso

### 4.1 Importancia de la especiación

Como se ha indicado anteriormente, los recientes efectos de la precipitación ácida en suelos y aguas superficiales ha tenido como consecuencia la concentración de grandes esfuerzos para desarrollar métodos de separación de las especies de Al en las aguas naturales. La importancia de la especiación radica en que no todas las formas químicas de Al son igualmente tóxicas. Driscoll et al. (1980) encontraron que el Al complejado con materia orgánica no es tóxico para los peces y que los complejos Al-F son más tóxicos que el Al orgánico pero menos que las formas acuosa e hidroxilada. Pavan et al. (1982) concluyeron que la fitotoxicidad, estimada mediante la velocidad de crecimiento de las raíces, podía ser predicha por la actividad del ión acuoso  $Al^{3+}$ . Hue et al. (1986) relacionaron la toxicidad con la suma de  $Al^{3+}$ , monómeros hidroxilados-Al y  $AlSO_4^{+}$ . El Al complejado con materia orgánica es aparentemente mucho menos fitotóxico que el Al inorgánico.

La especiación también es importante en la química del Al en los suelos ácidos ya que está relacionada con la formación y disolución de minerales. Los cálculos del producto de solubilidad requieren el conocimiento de la actividad del ión acuoso  $Al^{3+}$ .

### 4.2 Clasificación de las formas de Al en las aguas naturales

En las aguas naturales el Al se encuentra en disolución y en suspensión. El Al soluble se define por filtración a

través de membranas de  $0.45\mu\text{m}$  o  $0.1\mu\text{m}$  (Bloom y Erich, 1989). Las formas coloidales superiores a  $0.45\mu\text{m}$  se han denominado Al particulado. Los minerales de arcillas con tamaño de partícula en el rango  $0.1-0.5\mu\text{m}$  pueden ser responsables de errores en la determinación del Al soluble. Actualmente se reconoce que las partículas coloidales pasan a través de membranas de  $0.45\mu\text{m}$  y deben separarse e incluirse en los estudios de metales traza en aguas naturales. Bloom y Erich (1989) distinguen en el Al soluble, tal como se ha definido, las siguientes formas:

- Al coloidal fino correspondiente a minerales portadores de Al.
- Al asociado a macromoléculas (compuestos húmicos).
- Al en complejos con ligandos orgánicos de bajo peso molecular.
- Al en complejos inorgánicos monómeros.
- Al adsorbido en el material coloidal.
- polímeros hidroxí-Al.

#### 4.3 Especies de Al en la solución del suelo

a) **Complejos Inorgánicos.** Son fundamentalmente los productos de hidrólisis del Al y los complejos de fluoruro y sulfato.

Las especies de hidrólisis ( $\text{AlOH}^{2+}$ ,  $\text{Al}(\text{OH})_2^+$ , etc.) pueden relacionarse con la fase sólida que controla la concentración de Al y el pH.

El fluoruro forma complejos fuertes con el aluminio que contribuyen al Al soluble total en los suelos, particularmente los ácidos. Por debajo de  $(\text{F}^-)=10^{-6}$  los complejos de F pueden ignorarse mientras que a  $(\text{F}^-)=10^{-4}$  la actividad de los fluorocomplejos sería  $10^4$  veces la del  $\text{Al}^{3+}$ .

El ión acuoso  $\text{Al}^{3+}$  también forma complejos solubles con

aniones como el sulfato y nitrato. Sólo la especie  $AlSO_4^+$  es importante. Por ejemplo, cuando  $(SO_4)=10^{-3}$  las cantidades de  $AlSO_4^+$  y  $Al^{3+}$  son iguales.

Algunos autores sugieren que el fosfato puede complejar fuertemente al Al. Las interacciones P-Al son muy difíciles de caracterizar experimentalmente y los complejos correspondientes no han sido muy estudiados (Nordstrom y May, 1989).

Algunos autores han sugerido la importancia de las especies Al-Si (Luciak et al., 1974; Farmer et al., 1980; Farmer et al., 1982). Debido a la ausencia de datos termodinámicos al respecto, se han ignorado los complejos Al-Si en los estudios generales sobre la distribución del Al inorgánico en las aguas naturales. No obstante, de probarse que la complejación Al-Si es significativa, se alterarían notablemente los puntos de vista sobre la especiación del Al en las aguas naturales (Driscoll, 1989).

b) **Complejos Orgánicos.** El Al forma complejos bastante fuertes con los diferentes grupos funcionales de los ligandos orgánicos. La magnitud de la complejación varía de un suelo a otro. Es de esperar que la síntesis y degradación de los complejos cambie con el tiempo, la temperatura, la actividad biológica y otros factores. Los complejos orgánicos del Al aumentan su solubilidad y por lo tanto contribuyen a su movilidad. El estudio de estos complejos en el medio natural es difícil; se necesita conocer qué especies están presentes, las constantes de formación y las constantes correspondientes de los ligandos con otros metales presentes.

#### 4.4 Cuantificar las especies. Cómo y para qué.

Ante la complejidad de la química del Al en las soluciones del suelo se plantea la cuestión de cómo y para

qué separar las distintas especies.

Lindsay (1989) sugiere dos aproximaciones sobre el problema de cuantificar las relaciones de solubilidad del Al:

- La separación de las fases sólidas de la solución del suelo por filtración permite una estimación del Al soluble total. Esta fracción provee un parámetro para estimar la movilidad del Al, tanto en movimientos difusivos como convectivos. Este sería un parámetro de interés para muchos problemas ambientales.

- Conocer las relaciones entre las distintas especies y su toxicidad. En este sentido se han desarrollado métodos más o menos sencillos que intentan aislar una o más especies. Estos métodos, que se han comparado con ensayos biológicos, se describirán brevemente a continuación.

#### 4.5 Métodos de determinación de la especiación.

Los métodos más utilizados para el estudio de la especiación utilizan: velocidades de reacción con agentes complejantes, diálisis y membranas de ultrafiltración, electrodo selectivo de flúor y resinas de intercambio iónico. Una revisión reciente de estos métodos puede encontrarse en Bloom y Erich (1989). Uno de los métodos más utilizados es el basado en la velocidad de reacción con un ligando orgánico coloreado. Inicialmente se aplicó a la separación de especies monómeras y polímeras en disoluciones de Al hidrolizado (Okura et al., 1962; Turner, 1969). Seguidamente precisamos algunas de las técnicas más utilizadas en Ciencia del Suelo.

- James (1983): 8-hidroxiquinolina(8-HQ), pH 5, t=15-s. Separa especies monómeras (acuó, hidroxí y sulfato)
- Barnes (1975): 8-HQ, pH 8.3, t=10-30-s. Respecto al anterior incluye además complejos con F y materia orgánica.

- Smith (1971) y Bersillon et al. (1980): Ferrón, t=30-s. Formas monómeras
- Seip (1984). Violeta de pirocatecol, t=4min. Al monómero total.
- Bloom y Erich (1989) recomiendan los métodos basados en la utilización de resinas de intercambio iónico debido a la simplicidad del método y a la ventaja de poder comparar con un número elevado de trabajos sobre este método.

En la figura 1 se da un esquema donde se comparan diferentes métodos de fraccionamiento y las especies correspondientes.

#### 4.6 Toxicidad de las especies de Al solubles

Las especies de Al parecen tener toxicidades relativas diferentes para las plantas (Adams y Lund, 1966; Bartlett y Riego, 1972; Pavan y Bingham, 1982; Blamey et al., 1983; Cameron et al., 1986). Se admite como evidencia que el  $Al^{3+}$  y sus formas hidroxiladas monómeras son las formas más tóxicas. Los agentes complejantes orgánicos e inorgánicos aparentemente destoxifican el Al, reduciendo dichas formas. Por otra parte, existe evidencia creciente de la toxicidad del ión  $H^+$  per se y de que el calcio mitiga la toxicidad aluminica (Alva et al., 1986; Cameron et al., 1986). El efecto de la fuerza iónica fue considerado por primera vez por Adams y Lund (1966) que, al estudiar la influencia de la toxicidad aluminica en la longitud de raíces de algodón, encontraron una mayor consistencia entre el Al soluble y la longitud radicular cuando utilizaron las actividades de Al; en este estudio, ni el pH ni el Al cambiabile fuerqn indicadores apropiados de la toxicidad Al.

Se ha encontrado que los aniones inorgánicos sulfato, fosfato y fluoruro destoxifican el Al (Blamey et al., 1983; Alva et al., 1986; Cameron et al., 1986).

La toxicidad Al se reduce en presencia de aniones orgánicos como el citrato y EDTA (Bartlett t Riego, 1972;

Hue et al., 1986). Parece que la capacidad de destoxificación está relacionada con la concentración y proximidad de grupos OH y

COOH dentro de la molécula, siguiendo el orden: citrato > oxalato > tartrato > salicilato, que es el mismo orden de capacidad de complejación del Al (Hue et al.; 1986). Los compuestos húmicos también destoxifican el Al (Stevenson y Vance, 1989) aunque hay resultados discrepantes; por ejemplo Fariña et al. (1979) encontraron absorción de Al por las plantas a valores de pH del suelo cerca de la neutralidad. Hargrove (1986) sugiere que este resultado puede explicarse por la solubilización y absorción de complejos de Al - materia orgánica.

Estudios recientes apuntan a que los polímeros hidroxil-Al pueden tener una gran significación en suelos ácidos (Parker et al.; 1989). La posible toxicidad de estas especies polinucleares ha sido ampliamente subestimada con la excepción de Bartlett y Riego (1972). Se concibe, no obstante, que el  $Al_3$  (u otros polímeros tóxicos) podrían formarse en las proximidades de las partículas de cal en disolución (Bertsch, 1987).

Estos resultados explican el por qué no se haya desarrollado todavía ningún ensayo de suelo fiable para determinar los niveles de Al tóxico

## 5- Consideraciones finales

Aunque la discusión se ha centrado fundamentalmente en la aplicación a los suelos de los recientes avances de la química del Al, no hay que olvidar que otros parámetros importantes para la caracterización de la acidez del suelo requieren normalizarse dentro de la gran variedad de tipos de suelos. Citaremos algunos ejemplos. La selección más apropiada de la técnica de medida del pH necesita de un mayor conocimiento de la solución del suelo. El

comportamiento de la capacidad tampón depende del carácter variable o permanente de las cargas de sus componentes. La caracterización del Mn debe tener en cuenta el carácter cambiante de la rizosfera.

Por otra parte, la adopción de formalismos comunes con otras ciencias ambientales es imprescindible para el trabajo multidisciplinar, por ejemplo, la utilización del parámetro ANC

(capacidad neutralizante de ácido) en las soluciones y fases sólidas del suelo es importante en estudios globales de acidificación de sistemas y de transferencia de acidez desde el suelo a las aguas de drenaje (Reuss y Johnson, 1986; Sposito, 1989).

Para concluir, unas recomendaciones del IBSRAM (1987) sobre el tema: "El énfasis en nuevas metodologías no debería interpretarse como una sustitución de los procedimientos actuales, lo ideal sería continuar utilizando ambos, los tradicionales y los nuevos procedimientos recomendados. Con el tiempo y la experiencia podrán cambiar al desarrollarse metodologías superiores".

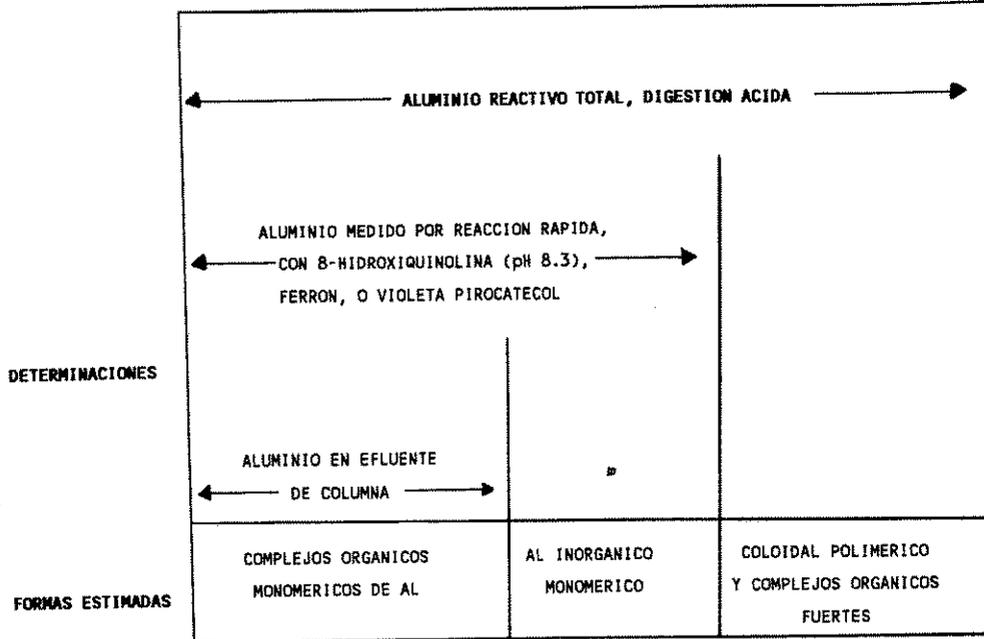


Fig. 1 (Driscoll, 1980)

## BIBLIOGRAFIA

- ADAMS, F., and LUND, Z.F. (1966). "Effect of chemical activity of soil solution Aluminium on cotton root penetration of acid subsoils". *Soil Science*, 101, 193.
- ADAMS, F., and MOORE, B.L. (1983). "Chemical factors affecting root growth in subsoil horizons of coastal plain soils". *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 47, 99.
- ALVA, A.K.; EDWARDS, D.C.; ASHER, C.J., and BLAMEY, F.P.C. (1986). "Effects of Phosphorus/Aluminium molar ratios and Calcium concentration on plant response to Aluminium toxicity". *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 50, 133.
- BARNES, R.B. (1975). "The determination of specific forms of Aluminum in natural water". *Chem. Geol.*, 15, 177.
- BARTLETT, R.J., and RIEGO, D.C. (1972). "Effect of chelation on the toxicity of Aluminium". *Plant and Soil*, 37, 419.
- BERSILLON, J.L.; HSU, P.H., and FIESSINGER, F. (1980). "Characterization of hydroxy-aluminum solutions". *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 44, 630.
- BERTSCH, P.M. (1987). "Conditions for Al<sub>13</sub> polymer formation in partially neutralized solutions". *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 51, 825.
- BLAMEY, F.P.C.; EDWARDS, D.G., and ASHER, C.J. (1983). "Effects of Aluminium, OH:Al and P:Al molar ratios, and ionic strength on soybean root elongation in solution culture". *Soil Science*, 136, 197.
- BLOOM, P.R. and ERICH, M.S. (1989). "The quantitation of aqueous Aluminum", en "The environmental chemistry of Aluminum". Sposito, G. Ed., CRC Press, Boca Raton, FL, Cap. 1.
- BLOOM, P.R.; McBRIDE, M.B., and WEAVER, R.M. (1979a). "Aluminium organic matter in acid soils: salt-extractable Aluminium". *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 43, 813.
- BLOOM, P.R.; McBRIDE, M.B. and WEAVER, R.M. (1979b). "Aluminium organic matter in acid soils: buffering and solutions

Aluminium activity". Soil Sci.Soc.Am.J., 43, 488.

BROMFIELD,S.M.; CUMMING,R.W.; DAVID,D.J., and WILLIAMS,C.H. (1983). "The assessment of available Manganese and Aluminium status in acid soils under subterranean clover pastures of various ages". Aust.J.Exper.Agric.An.Husbandry, 23, 192.

CAMERON,R.C.; RITCHIE,G.S.P., and ROBSON,A.D. (1986). "The relative toxicities of inorganic Aluminium complexes to barley (*Hordeum vulgare* L.)". Soil Sci. Soc.Am.J., 50, 1231

DRISCOLL,C.T. (1989). "The chemistry of Aluminum in surface waters", en "The environmental chemistry of Aluminum" Sposito,G.,Ed.,CRC Press, Boca Raton;FL, Cap.9.

DRISCOLL,C.T.; BAKER,J.P.; BISOGNI,J.J. and SCHOFIELD,C.L. (1980). "Effect of Aluminum speciation on fish in dilute and acidified waters". Nature, 284, 161.

EVANS,C.E., and KAMPRATH,E.J. (1970). "Lime response related to percent Al saturation, solution Al and organic matter content". Soil Sci.Soc.Am.Proc., 36, 893.

FARINA,M.P.W.; SUMNER,M.E.; PLANK,C.O. and LETZSCH,W.S. (1980). "Aluminum toxicity in corn at neutral soil pH levels". J.Plant.Nutr., 2, 683.

FARMER,V.C.; RUSSELL,J.D.; and BERROW,M.L. (1980). "Imogolite and proto-imogolite allophane in spodic horizons:evidence for a mobile Aluminum silicate complex in podzol formation". J.Soil Sci., 31, 673.

FARMER,V.C. and FRASER,A.R. (1982). "Chemical and colloidal stability of Soils in the  $Al_2O_3$ - $Fe_2O_3$ - $SiO_2$ - $H_2O$  system:their role in podzolization". J.Soil Sci., 33, 737.

GAKHAMANI,A.B. (1977). "Extractable and exchangeable Aluminium in synthetic compounds, minerals and subtropical and tropical soils". Pochvovederniye, 11, 45.

HARGROVE,W.L. (1986). "The solubility of Aluminum-organic matter and its implication in plant uptake of Aluminum". Soil Science, 142,3, 179.

HARGROVE,W.L., and THOMAS,G.W. (1981a). "Extraction of Aluminium from aluminium-organic matter complexes". Soil Sci.Soc.Am.J., 45, 151.

HARGROVE,W.L., and THOMAS,G.W. (1981b). "Effect of organic matter on exchangeable Aluminium and plant growth in acid soils". Am. Soc. Agron.Spec.Public., 40, 151.

HARGROVE,W.L., and THOMAS,G.W. (1984). "Extraction of Aluminium from aluminium-organic matter in relation to titratable acidity". Soil Sci.Soc. Am.J., 48, 1458.

HOYT,P.B. (1977). "Effects of organic matter content on exchangeable Al and pH-dependent acidity of very acid soil". Can. J. Soil Sci., 57, 221.

HOYT,P.B., and NYBORG,M. (1971a). "Toxic metals in acid soil. I. Estimation of plant available Aluminium". Soil Sci. Soc.Am.Proc., 35, 236.

HUE,N.V.; CRADDOCK,G.R., and ADAMS,F. (1986). "Effects of organic acids on Aluminum toxicity in subsoils". Soil Sci.Soc.Am.J., 50, 28.

HUE,N.V.; CRADDOCK,G.R., and ADAMS,F. (1986). "Effect of organic acids on Aluminium toxicity in subsoils". Soil Sci. Soc.Am.J., 50, 28.

IBSRAM (1987). "Management of acid tropical soils for sustainable agriculture: proceedings an inaugural workshop. Bangkok,Thailand" IBSRAM Proc. N92

JAMES,B.R.; CLARK,C.J., and RIHA,S.J. (1983). "An hydroxyquinoline method for labile and total Aluminum in soil extracts". Soil Sci.Soc.Am.J., 47, 893.

JUO,A.S.R. (1977). "Soluble and exchangeable Aluminium in ultisols and alfisols in West Africa". Comun. in Soil Sci. Plant.Anal., 8, 17.

JUO,A.S.R., and KAMPRATH,E.J. (1979). "Copper chloride as an extractant for estimating the potentially reactive Aluminium pool in acid soils". Soil Sci. Soc. Am.J., 43, 35.

KAMPRATH,E.J. (1970) "Exchangeable Aluminium as a criteria for liming leached mineral soils". Soil Sci. Soc.Am. Proc.,

KAMPRATH, E.J. (1978b). "The role of soil chemistry in the diagnosis of nutrient disorders in tropical situations", en "Mineral Nutrition of Legumes in Tropical and Subtropical soils" (C.S. Andrew and E.J. Kamprath, eds.), pp.313. CSIRO Melbourne.

LINDSAY, W.L. and WALTHALL, P.M. (1989). "The solubility of Aluminum in surface waters", en "The environmental chemistry of Aluminum", Sposito, G., Ed., CRC Press, Boca Raton, FL Cap.8.

LUCIAK, G.M. and HUANG, P.M. (1974). "Effect of monosilicic acid on hydrolytic reactions of Aluminum". Soil Sci.Soc.Am.J., 38, 235.

McLEAN, E.O. (1965). "Aluminium", en "Methods of Soil Analysis, Part 2" (C.a. Black, Ed.), pp. 978-998. American Agronomy Society, Madison, Wisconsin.

NORDSTROM, D.K. and MAY, H.M. (1989). "Aqueous equilibrium data for mononuclear Aluminum species", en "The environmental chemistry of Aluminum", Sposito, G., Ed., CRC Press, Boca Raton, FL, Cap.2.

NYE, P.; CRAIG, D.; COLEMAN, N.T., and RAGLAND, J.L. (1961) "Ion exchange equilibria involving Aluminium". Soil Sci Soc. Am.Proc., 25, 14.

DATES, K.M., and KAMPRATH, E.J. (1983a). "Soil acidity and liming. I. Effect of the extracting solution cation and pH on the removal of Aluminium from acid soils". Soil Sci Soc.Am.J., 47, 686.

DATES, K.M., and KAMPRATH, E.J. (1983b). "Soil acidity and liming. II. Evaluation of using Aluminium extracted with various chloride salts for determining lime requirements". Soil Sci.Soc. Am.J., 47, 690.

OKURA, T.; GOTO, K., and YOTSUYANAGI, T. (1962). "Forms of Aluminum determined by an 8-hydroxyquinoline extraction method". Anal.Chem., 34, 581.

PARKER, D.R.; KINRAIDE, T.B., and ZELAZNY, L.W. (1989). "On the phytotoxicity of polynuclear hydroxy-Aluminum complexes". Soil Sci. Soc.Am.J., 53, 789.

- PAVAN, M.A.; BINGHAM, F.T., and PRATT, P.F. (1982). "Toxicity of Aluminum to coffee in Ultisols and Oxisols amended with  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{MgCO}_3$ , and  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ". Soil Sci. Soc. Am. J., 46, 1201.
- PAVAN, M.A., and BINGHAM, F.T. (1982). "Toxicity of Aluminium to coffee seedlings grown in nutrient solution". Soil Sci. Soc. Am. J., 46, 993.
- PIERI, C. (1987). "Management of acid tropical soils in Africa" en "Management of acid tropical soils for sustainable agriculture: proceedings of an inaugural workshop. Bangkok, Thailand". IBSRAM Proc. N<sup>o</sup>2
- PRATT, P.F., and BLAIR, F.L. (1961). "A comparison of three reagents for the extraction of Aluminium from soils". Soil Science, 91, 357.
- REEVE, N.G., and SUMNER, M.E. (1970). "Lime requirements of Natal oxisols based on exchangeable Aluminium". Soil Sci. Soc. Am. Proc., 34, 595.
- REUSS, J.O. and JOHNSON, D.W. (1986). Ecological Studies Series N<sup>o</sup>59. Springer-Verlag, N.Y. 119 p.
- SEIP, H.M.; MULLER, L., and NAAS, A. (1984). "Aluminum speciation: comparison of two spectrophotometric analytical methods and observed concentrations in some acidic aquatic systems in southern Norway". Water Air Soil Pollut., 23, 81.
- SMITH, R.W. (1971). "Relations among equilibrium and nonequilibrium aqueous species of Aluminum hydroxy complexes". Am. Chem. Soc. Adv. Chem., 106, 250.
- SPOSITO, G. (1989). "The Chemistry of Soils". Oxford University Press. 277 p.
- STEVENSON, F.J. and VANCE, G.F. (1989). "Naturally occurring Aluminum-organic complexes", en "The environmental chemistry of Aluminum", Sposito, G., Ed., CRC Press, Boca Raton, FL, Cap.5.
- THOMAS, G.W. (1975). "The relationship between organic matter content and exchangeable Aluminium in acid soil". Soil Sci. Soc. Am. Proc., 39, 591.

TURNER, R.C. (1969). "Three forms of Aluminum in aqueous systems determined by 8-quinolate extraction methods" Can. J. Chem., 47, 2521.

WEBBER, M.D.; HOYT, P.B., and CORNEAU, D. (1982). "Soluble Al exchangeable Al, base saturation and pH in relation to barley yield on Canadian acid soils". Can. J. Soil Sci., 62, 397.

## COMUNICACIONES

M.J. Martínez Lope, A. Pinilla Navarro, J. Benayas Casares y A. Guerra Delgado\*.

Instituto de Edafología y Biología Vegetal del C.S.I.C., Serrano 115 dpdo. 28006 Madrid. \* Departamento de Química Agrícola, Geología y Geoquímica, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Madrid, 28034 Madrid.

#### INTRODUCCION

Tepetates son horizontes edáficos o capas cementadas constituidos por materiales de origen volcánico cementados por sílice amorfa; muy duros cuando estan secos, pero se pueden modelar y trabajar en estado húmedo. Según se especifica en la Soil Taxonomy 1975 y más tarde, entre otros muchos, por Steinhardt et al. 1982 el agente cementante se atribuye al incremento de Si extraíble por NaOH que extrae sílice libre frente al reactivo ditionito-bicarbonato-citrato sódico (DBC). En general reciben el nombre de Duripanes.

Este estudio tiene por objeto, en una primera etapa, el aportar datos granulométricos, mineralógicos y micromorfológicos de una serie de muestras de tepetates tomadas en las altiplanicies del centro de Méjico, estado de Méjico DF, cuenca de Texcoco y en los estados de Puebla y Tlaxcala. Las muestras recogidas en éstas zonas son horizontes enterrados de morfología distinta y colores variados (rojizo, blanco y café amarillento). En estas zonas hay cuencas lacustres con difícil drenaje (Tlaxcala y Valle de Méjico) y otras se caracterizan por un buen drenaje, ver Hernández.

#### METODOS

Se realizó la granulometría y el estudio mineralógico en los tamaños arena (0,5-0,05  $\mu\text{m}$ ), limo (50-20  $\mu\text{m}$ , 20-8  $\mu\text{m}$  y 8-2  $\mu\text{m}$ ) y arcilla (<2 $\mu\text{m}$ ). Las fracciones arena y limo se identificaron por microscopía óptica, y limo y arcilla por difracción de rayos X, Microscopía electrónica de transmisión y Análisis térmico.

El corte delgado del suelo se preparó en muestras con su estructura sin modificar y se estudió por vía óptica.

## RESULTADOS Y DISCUSION

En el laboratorio se comprobó que las muestras de tepetate se disgregan, algunas, fácilmente con agua. Las características del corte delgado del suelo son: predominio de la microestructura con cavidades; con frecuencia la fracción mineral gruesa es muy dominante (mayor del 70%); distribución relacionada porfírica cerrada o de espaciado simple; con textura -b indiferenciada; rellenos y revestimientos de arcilla con zonas de extinción netas y, en menor proporción, nódulos ferruginosos de contorno difuso.

Según la granulometría, unas muestras tienen muy poca arcilla (zona de Nativitas, con una proporción inferior al 8%), mientras que las de las zonas de Texcoco tienen abundante arcilla, llegando, en algunos casos, al 50%.

La mineralogía de arena y limo muestra, en la fracción ligera, abundancia de ceniza volcánica y feldespatos, siendo estos principalmente oligoclasa y andesina. La ceniza volcánica muestra, ocasionalmente, fitolitos en su interior. También se observan partículas de revestimiento arcilloso y vidrio volcánico. Anfíboles, piroxenos y magnetitas constituyen la fracción pesada ( $d > 2,9$ ). En todas las muestras de limo hay fitolitos (sílice orgánica); en la zona de Texcoco, predominan.

La mineralogía de arcillas es prácticamente igual en todas las muestras, el componente predominante es la haloisita; también se observan trazas de illita, feldespatos y cristobalita.

Por Microscopía electrónica de transmisión se observa que la haloisita es de forma tubular y más escasa la glomerular.

Las curvas termogravimétricas de las muestras de arcilla son prácticamente iguales; presentan dos pérdidas de peso, la primera entre la temperatura ambiente y  $\sim 200^{\circ}\text{C}$  y la segunda entre  $200^{\circ}\text{C}$  y  $\sim 500^{\circ}\text{C}$ . La pérdida de peso total oscila entre el 16 y 18%.

## CONCLUSIONES

Los tepetates se caracterizan por el alto contenido en materiales amorfos (vidrio volcánico y fitolitos). La alteración se produce, principalmente, en el vidrio volcánico, que es el origen de la haloisita, mientras que los feldespatos, piroxenos y anfíboles apenas se encuentran meteorizados.

La morfología de piroxenos y anfíboles pone de manifiesto que los ma-

teriales que dieron origen a los suelos de tepetates proceden de diferentes emisiones volcánicas.

Una pequeña parte de fitolitos se encuentra en partículas de ceniza volcánica, lo que indica que las lavas pasaron por suelos con abundante vegetación, que les permitió incorporar sílice orgánica, antes de su deposición definitiva.

Por los datos obtenidos, los tepetates estudiados son de origen edáfico o al menos han pasado por fases edáficas; la presencia y abundancia de fitolitos y los rasgos de iluviación de arcilla así lo prueban.

#### BIBLIOGRAFIA

- Hernández, E., 1987. Etnobotánica de Tlaxcala. Conferencia Magistral. Uso y manejo de los tepetates para el desarrollo rural. Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Suelos. Chapingo, Mexico.
- Soil Taxonomy, 1975. A Basic System for Making and Interpreting soil Surveys. Agriculture Handbook N° 436, Soil Conserv. Serv. USDA 754 pp.
- Steinhardt, G.C., Franzmeir, D.P., Norton, L.D., 1982. Silica associated with fragipan and non-fragipan horizons. Soil Sci. Soc. Am. J., 46, 656-657.

# FORMAS DE MINERALES CAOLINITICOS EN SUELOS GRANITICOS DE GALICIA

Romero, R., Taboada, T.M., Garcia, C.

Dpto. de Edafología y Química Agrícola. Facultad de Biología.

Universidad de Santiago de Compostela.

El objetivo de este trabajo es determinar qué formas de filosilicatos 1:1 dioctaédricos son característicos de los ambientes edáficos desarrollados sobre materiales graníticos de Galicia.

## MATERIAL:

Con objeto de que en este estudio aparezcan representados los dos grandes tipos de granitos gallegos se han seleccionado dos perfiles sobre granitos alcalinos y otros dos sobre calcoalcalinos, considerando en ambos casos suelos con distinto grado de desarrollo (fig. 1); además se ha recogido un quinto perfil, que aún encontrándose en un macizo granítico alcalino, presenta una fuerte alteración hidrotermal. La situación y el esquema de estos perfiles aparecen representados en la figura 1.

## METODOS:

El grado de cristalinidad del filosilicato 1:1 se ha determinado en la fracción arcilla de cada una de las muestras seleccionadas. Para ello se han utilizado métodos cualitativos basados en los diagramas de D.R.X, siguiendo fundamentalmente los criterios establecidos por Dimanche et al (1975), y métodos cuantitativos (Hughes y Brown, 1979; Dimanche et al., 1975). Asimismo se ha tenido en cuenta la información obtenida a partir de los diagramas de A.T.D., calculando el índice de asimetría según las indicaciones de McKenzie (1971 y 1972).

Los difractogramas han sido realizados en un equipo Philips que consta de un generador con un goniómetro PW-1279 con monocromador, un registrador gráfico PM-8203A y un microordenador de control PW-1710.

Los A.T.D. se han obtenido utilizando el modelo 1700, Perkin-Elmer.

Se ha completado este estudio con la aplicación del test de la formamida tal como proponen Churchman et al. (1984).

El citado test se basa en la facilidad que muestran las halloysitas

para captar la formamida entre sus capas, hecho que se traduce en un desplazamiento del efecto inicialmente situado a 7Å hacia 10Å en un periodo comprendido dentro de las cuatro primeras horas tras la aplicación de la amida. Por el contrario, las caolinitas necesitan más tiempo de contacto, encontrando los autores una relación entre el grado de cristalinidad y el tiempo de permanencia del efecto a 7Å, de hecho en sus estudios demuestran que las caolinitas s.s. no reaccionan hasta después de 28 días de tratamiento.

#### RESULTADOS:

Al analizar el grado de cristalinidad en los filosilicatos 1:1 dioctáedricos de los dos perfiles más evolucionados sobre ambos tipos de granitos (perfiles Cervo y Tebra) se comprueba, tanto por métodos cualitativos como cuantitativos (tabla I y II), el predominio de formas caoliníticas desordenadas y/o halloysitas. Ahora bien, en ambos suelos se observa una cierta variación vertical en cuanto al grado de orden del filosilicato; pues mientras en las saprolitas el comportamiento se asemeja más al de las halloysitas, a medida que se asciende se produce un predominio de las colinitas de bajo grado de orden, así lo confirma la aparición en los diagramas correspondientes a los horizontes C,B/C y B de dobletes a 2,5 y 2,3Å y una ligera intensificación de los efectos situados a 7 y 3,56Å al orientar la muestra.

Pero quizás el hecho más significativo se produce en los horizontes A, ricos en materia orgánica, ya que los análisis realizados indican de nuevo la aparición de formas halloysíticas que incluso presentan índices de cristalinidad menores que los de las saprolitas correspondientes, además de desaparecer los efectos tanto a 7 como a 10Å al cabo de cuatro horas de tratamiento con formamida, hecho que no se pone de manifiesto en ninguna de las otras muestras de estos perfiles; siendo este un rasgo típico de los materiales en los que abundan las halloysitas y la interfase gel-halloysita (Romero et al.,1990).

Este mismo tipo de comportamiento aparece en los dos suelos incipientes, ya que se trata de perfiles que sólo presentan horizonte A, donde la cantidad de materia orgánica alcanza valores del orden 11-12%. Con objeto de comprobar la estabilidad de los caolines s.s. en los suelos gallegos se analiza un quinto perfil en el que el material original es rico en caolín de origen hidrotermal (perfil de Vilarseco). Galán et al.(1977) en un estudio sobre caolines españoles indican que los

POEYTA  
 GUTINA DE IDENTIFICACION DE FLOSCILICATOS 1:1 (Según Dismachio: et al., 1975)

Tebra Hor. A	-Efectos a 7 y 3,56 ensanchados en la base, bastante simétricos.	-Efectos a 4,4A en banda alargada y asimétrica, más intensa que 7 y 3,56A.	-Doblete a 2,39 y 2,35A -En el A.O. se intensifican un poco los efectos 7 y 3,56.
Tebra Hor. B	-Efectos a 7 y 3,56 bastante agudos y simétricos.	-Efectos a 4,4 en banda alargada y asimétrica, más intensa que 7 y 3,56A.	-No existen tripletes ni -En el A.O. se intensifican un poco los efectos 7 y 3,56.
Tebra Hor. B/C	-Efectos a 7 y 3,56 ensanchados en la base, bastante agudos y simétricos.	-Efectos a 4,4 en banda alargada y asimétrica, más intensa que 7A.	-En el A.O. se intensifican un poco los efectos 7 y 3,56 y decrece el de 4,4A.
Tebra saprolita	-Efectos a 7 y 3,56 bastante anchos.	-Efectos a 4,4 en banda alargada y asimétrica, más intensa que 7 y 3,56A.	-En el A.O. se intensifican un poco los efectos 7 y 3,56 y decrece el de 4,4A.
Findo	-Efectos a 7 y 3,56 anchos y asimétricos.	-Efectos a 4,4 en banda alargada y asimétrica, más intensa que 7 y 3,56A.	-No existen tripletes ni -En el A.O. se intensifican un poco los efectos 7 y 3,56 y decrece el de 4,4A.
Cervo Hor. A	-Efectos a 7 y 3,56 ensanchados y asimétricos.	-Efectos a 4,4A en banda alargada y asimétrica, más intensa que 7 y 3,56A.	-No existen tripletes ni -En el A.O. se intensifican un poco los efectos 7 y 3,56 y no decrece el de 4,4.
Cervo Hor. B	-Efectos a 7 y 3,56 ensanchados y asimétricos.	-Efectos a 4,4A en banda alargada y asimétrica, más intensa que 7 y 3,56A.	-No existen tripletes ni -En el A.O. se intensifican un poco los efectos 7 y 3,56 y decrece el de 4,4.
Cervo Hor. B/C	-Efectos a 7 y 3,56 ensanchados y asimétricos.	-Efectos a 4,4A en banda alargada y asimétrica, más intensa que 7 y 3,56A.	-Dobletes a 2,55 y 2,49A -En el A.O. se intensifican un poco los efectos 7 y 3,56 y decrece 4,4A.
Cervo saprolita	-Efectos a 7 y 3,56 anchos y asimétricos.	-Efectos a 4,4A en banda alargada y asimétrica, más intensa que 7 y 3,56A.	-En el A.O. se intensifican un poco los efectos 7 y 3,56 y decrece 4,4A.
Cervo caprolita	-Efectos a 7 y 3,56 anchos y asimétricos.	-Efectos a 4,4 en banda alargada y asimétrica, más intensa que 7 y 3,56A.	-No existen tripletes ni -En el A.O. se intensifican un poco los efectos 7 y 3,56 y decrece 4,4A.
Voltería Hor. A	-Efectos a 7 y 3,56 en forma de bandas asimétrica.	-Efectos a 4,4 en banda alargada y asimétrica, más intensa que 7 y 3,56A.	-No Existen tripletes ni -En el A.O. casi desaparecen los efectos a 7 y 3,56A.
Villarsco Hor. A	-Efectos a 7 y 3,56 agudos y simétricos.	-Efectos a 4A bien definidos y menos intensos que 7 y 3,56A.	-Dobletes a 4,46 y 4,15A -Dobletes a 2,56 y 2,49A -Tripletes a 2,30, 2,34 y 2,29A.
Villarsco saprolita	-Efectos a 7 y 3,56 agudos y simétricos.	-Efectos a 4 bien definidos y menos intensos que 7 y 3,56A.	-Tripletes a 4,43, 4,33 y 4,15; 2,55; 2,52 y 2,48; 2,37; 2,33 y 2,28A.
Villarsco saprolita	-Efectos a 7 y 3,56 agudos y simétricos.	-Efectos a 4 bien definidos y menos intensos que 7 y 3,56A.	-Tripletes a 4,47; 4,36 y 4,16; 2,56; 2,47 y 2,49; 2,36; 2,34 y 2,29.

Tabla II.

## INDICES DE CRISTALINIDAD

## TEST DE LA FORMAMIDA

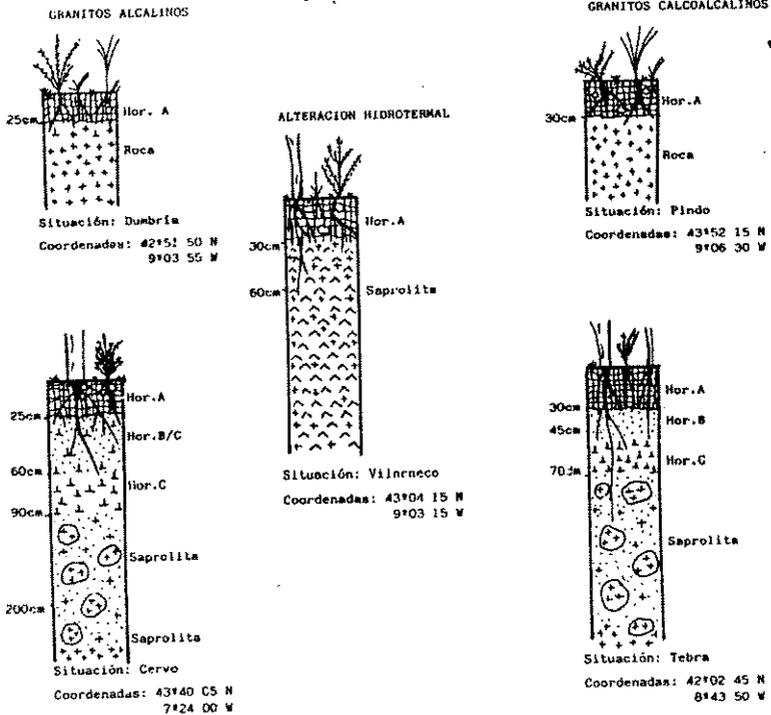
MUESTRA	Indice de Hughes y Brown		TEST DE LA FORMAMIDA	
	$\frac{I_{4,46}}{I_{7,02}}$	$\frac{I_{10}}{I_7}$	$\frac{I_{10}}{I_7}$ -A.O.	$\frac{I_{10}}{I_7}$ -4h
Tebra	Hor. A 1,93	2,55	0,34	0,59
Tebra	Hor. B 1,71	2,53	0,29	0,77
Tebra	Hor. B/C 1,26	3,31	0,29	0,70
Tebra	Saprolita 1,25	3,02	0,21	0,73
Tebra	Saprolita 2,20	1,97	0,30	0,95
<hr/>				
Pindo	Hor. A 2,70	3,00	1,20	Efectos no medibles
<hr/>				
Cervo	Hor. A 3,60	1,66	0,88	Efectos no medibles
Cervo	Hor. B 2,22	2,29	0,52	0,80
Cervo	Hor. B/C 1,81	2,56	0,37	1,09
Cervo	Saprolita 2,14	2,33	0,68	1,57
Cervo	Saprolita 3,33	2,06	0,75	1,73
<hr/>				
Dumbria	Hor. A 2,50	2,00	1,36	Efectos no medibles
<hr/>				
Vilarseco	Hor. A 0,62	10,27	0,16	0,17
Vilarseco	Saprolita 0,53	26,00	0,00	0,00
Vilarseco	Saprolita 0,59	19,50	0,00	0,00

hidrotermales son los que presentan mejor cristalinidad; los resultados del estudio de este perfil confirman dicho origen, ya que coinciden con los citados en la bibliografía como propios de los caolines s.s., además de ser los únicos, de todos los analizados, en los que la formamida no es efectiva. Una vez admitida la presencia de caolinita s.s. en el material original, la cuestión planteada se refiere a qué ocurre con los filosilicatos 1:1 del horizonte A de este suelo, cuya proporción de materia orgánica es del 8,5%. Los resultados indican que, si bien el grado de cristalinidad del filosilicato es mucho mayor que el de los otros horizontes ricos en materia orgánica, presenta, si se compara con los horizontes más profundos de ese mismo perfil, un menor grado de orden, pues en los diagramas de D.R.X sólo aparecen dos pares de dobletes en lugar de tripletes en las regiones de 4,4 y 2,5A; además de sufrir un desplazamiento de parte del efecto a 7A hacia 10A cuatro horas después de ser tratada la muestra con formamida. Por lo tanto se puede afirmar la presencia en este horizonte no sólo de caolinitas ligeramente desordenadas sino también de halloysitas, por lo que, aún admitiendo que el origen de las halloysitas sea una neoformación en el propio horizonte A, se confirma el inicio de la desestabilización de la caolinita en ambientes ricos en materia orgánica.

#### CONCLUSIONES:

Los resultados aquí obtenidos pueden interpretarse como una prueba más de que en las actuales condiciones de los medios superficiales gallegos los filosilicatos 1:1 dioctaédricos más estables presentan bajo grado de orden (Macías y Calvo, 1988; Fernández y Macías, 1987); si bien pueden diferenciarse dos ambientes en función de la proporción de materia orgánica. Así, mientras como productos de meteorización y edafogénesis, en ausencia de materia orgánica, predominan las mezclas halloysitas-caolinitas desordenadas, las condiciones creadas por la materia orgánica favorecen la aparición de formas halloysíticas y de interfase gel-halloysita, de tal forma que podría afirmarse no sólo que los únicos compuestos neoformados en los horizontes A son escasamente cristalinos (García-Rodeja et al., 1987, encuentran propiedades ándicas en este tipo de horizontes) sino que incluso formas bien cristalizadas son inestables.

Fig. 1.-



CHURCHMAN, G. J., WHITTON, J. S., CLARIDGE, G. G. C., THENG, B. K. G., 1984. Intercalation method using formamide for differentiating halloysite from kaolinite. *Clays and Clay Minerals*. 32:241-248.

DIMANCHE, F., RASSEL, A., TARTE, P., THOREZ, J., 1974. The kaolins. *Mineralogy deposits uses. Minerals S. Engng.* 6, n°4:184-205.

FERNANDEZ, M., MACIAS, F., 1987. Análisis de los procesos de alteración neoformación en sistemas edáficos a partir de consideraciones termodinámicas de equilibrios solución-mineral. *An. Edaf. Agrob.* 46:1-25.

GARCIA-RODEJA, E., SILVA, B. M., MACIAS, F., 1987. Andosols developed from non volcanic materials in Galicia, Nw Spain. *Journal of Soil Science*. 38:551-591.

HUGHES, J. C., BROWN, G., 1979. A crystallinity index for soils kaolins and its relation to parent rock, climate and soil maturity. *J. Soil Sci.* 30:557-566.

MACIAS, F., CALVO, R. M., 1988. Arcillas y limos de sedimentos actuales en las rías de Galicia. *Consideraciones genéticas. Geociencias* 3:179-187.

McKENZIE, R. C., 1971. *Differential thermal analysis 2. Fundamental aspects*. Academic Press. London.

McKENZIE, R. C., 1972. The constituents soil clays. Their importance and origin. Fifth conference on clay mineralogy and petrology. Teplice. 9.17.

ROMERO, R., GARCIA, C., MACIAS, F., 1990. Utilización del test de la formamida en la identificación de los filosilicatos 1:1 de suelos de la provincia de La Coruña. *Suelo y Planta (En prensa)*.

RELACIONES ENTRE DOS INDICES DE ALTERACION: EL INDICE DE PARKER Y  
EL pH DE ABRASION.

Taboada, T.M., Romero, R., García, C.

Dpto. de Edafología y Química Agrícola. Facultad de Biología. Universidad  
de Santiago de Compostela.

INTRODUCCION:

Con este trabajo se trata de poner de manifiesto el paralelismo existente entre dos índices de alteración: el índice de Parker (1970) y el pH de abrasión. El primero de ellos, basado en el análisis químico de la muestra total, considera la proporción de cationes (Ca, Mg, K, Na) presentes en la muestra y el pH de abrasión responde, fundamentalmente, a la cantidad de cationes que pasan a solución una vez que la muestra se muele en un medio acuoso (Grant, 1969); por lo que, lógicamente, debe existir una relación entre los cationes pertenecientes a las estructuras mineralógicas y los que pasan a solución.

MATERIAL:

Se estudian doce perfiles desarrollados sobre diversos tipos de granitos de Galicia. En cada uno de ellos se analizan las muestras correspondientes a rocas y saprolitas con diferentes grados de alteración, siendo estas el objeto fundamental del trabajo, aunque se completa el estudio de cada perfil con el análisis de los horizontes edáficos.

METODOS:

Trás la eliminación de la materia orgánica con  $H_2O_2$  al 6%, se han realizado las siguientes determinaciones:

Análisis químico total: Se realiza a partir de la muestra molida y tamizada a través de una malla de 50 micras. La digestión se realiza en reactores a presión utilizando como disolventes HF y HNO<sub>3</sub> y neutralizando con ácido bórico saturado (Guitian Rivera, 1981). Ca y Mg se determina por espectrofotometría de absorción atómica; Na y K por espectrofotometría de emisión.

la comparación entre los análisis químicos totales de la roca fresca y de la saprolita en diversos grados de alteración, permite apreciar las pérdidas y ganancias relativas de los diferentes elementos químicos durante el proceso de alteración.

Tabla 1.-

MUESTRAS	I <sub>a</sub>	pH abr.	MUESTRAS	I <sub>a</sub>	pH at
<b>TEBRA</b>			<b>CERVO</b>		
Hor.A	41,18	5,8	Hor.A	56,96	5,8
Hor.B	39,87	5,7	Hor.B	50,56	5,1
Hor.B/C	41,51	5,5	Hor.B/C	51,79	5,2
Saprolita	35,20	5,4	Saprolita	45,58	4,7
Saprolita	46,11	6,0	Saprolita	57,22	4,9
Roca fresca	64,57	7,4	Roca fresca	75,13	7,4
(1): r = 0,98			(1): r = 0,94		
(2): r = 0,98			(2): r = 0,94		
<b>XURES</b>			<b>VILARSECO</b>		
Hor.A	58,08	6,2	Hor.A	29,31	6,0
Hor.B	62,69	5,9	Saprolita	12,99	5,1
Saprolita	60,19	4,9	Saprolita	12,28	5,3
Roca fresca	68,40	7,5	Roca fresca	68,72	7,4
(1): r = 0,99			(1): r = 0,99		
(2): r = 0,79			(2): r = 0,99		
<b>TRABA</b>			<b>BUDIÑO</b>		
Hor.A	59,06	5,9	Hor.A		5,6
Hor.B/C	65,30	5,9	Hor.B	57,44	5,8
Saprolita	67,96	6,2	Hor.C/B	56,79	5,9
Saprolita	59,15	5,7	Saprolita	47,46	5,7
Roca fresca	71,60	7,1	Roca fresca	67,61	7,2
(1): r = 0,89			(1): r = 0,94		
(2): r = 0,85			(2): r =		
<b>FARO</b>			<b>FORGOSELO</b>		
Hor.A	51,72	6,3	Hor.A		6,2
Hor.B	22,90	5,2	Hor.B	46,90	5,1
Hor.C	33,33	5,3	Hor.C	38,07	5,4
Saprolita	42,95	5,4	Saprolita	37,60	5,7
Roca alt.	67,60	5,6	Roca alt.	71,02	7,3
Roca fresca	75,41	8,1	Roca fresca	76,59	8,5
(1): r = 0,88			(1): r = 0,93		
(2): r = 0,75			(2): r =		
<b>MOUGAS</b>			<b>CUADRAMON</b>		
Hor.Au <sub>1</sub>	54,90	6,2	Hor.A	39,22	5,9
Hor.Au <sub>2</sub>	56,84	5,1	Hor.B	40,83	5,5
Hor.B	59,64	5,4	Hor.C	43,30	5,3
Hor.B/C	57,12	5,3	Roca fresca	52,94	6,8
Saprolita	58,35	6,3	(1): r = 0,95		
saprolita	61,40	6,5	(2): r = 0,65		
Roca fresca	76,94	7,6			
(1): r = 0,83					
(2): r = 0,76					

(1): Coeficientes de correlación sin considerar los horizontes ricos en materia orgánica.

(2): Coeficientes de correlación considerando todos los horizontes del perfil.

El índice de Parker (1970) permite medir la alteración de las rocas silicatadas, porque relaciona las cantidades de elementos de mayor movilidad en los diferentes estados de evolución; se define por:

$$I_a = \left( \frac{Ca}{0,7} + \frac{Mg}{0,9} + \frac{K}{0,25} + \frac{Na}{0,35} \right) \times 100$$

donde en el numerador se expresan las cantidades de los elementos calculados en átomos-gramo y en los denominadores figuran las energías de enlace de estos cationes con el oxígeno.

pH de abrasión, según el método de Grant (1969): Se pesan 20 gr de muestra, previamente lavada con agua destilada y seca, se introduce en un mortero de ágata con 40 ml de agua destilada y se muele durante 2 minutos y 15 segundos. Se deja reposar durante dos minutos, se extraen 15 ml de sobrenadante y en el resto se mide el pH.

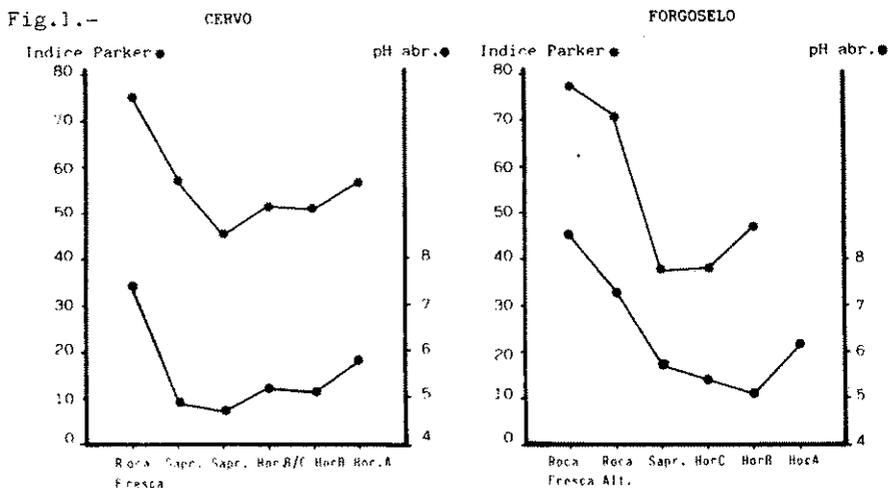
Determinaciones en la solución de abrasión: El sobrenadante de la operación anterior se centrifuga y como resultado se obtiene un nuevo sobrenadante que constituye la solución de abrasión, donde se determina la concentración de Ca y Mg por espectrofotometría de absorción atómica y de Na y K por espectrofotometría de emisión.

#### RESULTADOS:

Los resultados de los análisis químicos de las muestras indican que los materiales graníticos sufren, bajo el clima húmedo de Galicia, una fuerte lixiviación de las bases (Ca, Mg, Na, K), hecho que queda reflejado en el descenso de los índices de Parker a medida que progresa el grado de alteración de la roca. En los horizontes edáficos este índice pone también de manifiesto los aportes de minerales frescos que, como consecuencia del coluvionamiento, son muy frecuentes en los suelos graníticos gallegos.

Por otra parte, si se calcula el pH de abrasión de las muestras correspondientes a los perfiles de alteración se observa una clara disminución conforme avanza el proceso de meteorización. En el suelo el pH de abrasión señala también la llegada de minerales frescos; pero la complejidad de los procesos edáficos y, sobre todo, la influencia de la materia orgánica provocan modificaciones ajenas a la propia degradación mineralógica del material original (Romero et al., 1987). Un indicio de esto último es que las correlaciones existentes entre la suma de cationes de la solución de abrasión y el pH de abrasión, en cada perfil, presentan coeficientes generalmente menores si el análisis estadístico se hace extensivo a los horizontes superficiales.

A lo largo del presente trabajo se ha comprobado el paralelismo existente entre el pH de abrasión y el índice de Parker, como puede observarse, por ejemplo, en la figura 1.



Este resultado gráfico queda corroborado cuando se determinan los coeficientes de correlación (tabla 1) entre ambos índices en los perfiles de alteración, pues casi siempre son superiores a 0,90. La significación de la correlación no se pierde cuando se establece teniendo en cuenta todos los datos, en cuyo caso  $r=0,70$ .

En la tabla 1 se recogen también las correlaciones que se han hecho considerando los perfiles completos, es decir, incluidos los horizontes ricos en materia orgánica, comprobándose, como era de esperar, la disminución de los coeficientes de correlación.

Así pues el análisis comparativo entre las dos técnicas de evaluación del grado de meteorización geoquímica de las rocas graníticas permite afirmar que el pH de abrasión aporta una información muy similar a la del índice de Parker, presentando la ventaja frente a este último de su rápida y fácil determinación.

#### BIBLIOGRAFIA:

- GRANT, W.H., 1969. Abrasion pH, an index of chemical weathering. *Clay and Clay Minerals*. 17:151-155.
- PARKER, A., 1970. An index of weathering for silicate rocks. *Geol. Mag.* 50:1-50.
- ROMERO, R., TABOADA, T.M., CARCIA, C., MACIAS, F., 1987. Utilización del pH de abrasión como un índice del grado de evolución de la alteración y edafogénesis en suelos graníticos de la provincia de A Coruña. *Cuadernos do Laboratorio Xeolóxico de Laxe*. 11:171-180.

TITULO: Determinación de capacidad de cambio catiónico y cationes extraíbles con Ag-Tiourea en Andosoles.

Autores: C.D. ARBELO, M. ESPINO y J.M. HERNANDEZ-MORENO.

Departamento de Edafología y Geología de la Universidad de La Laguna. Tenerife. Islas Canarias.

PROBLEMATICA y OBJETIVOS.

Los numerosos trabajos dedicados al estudio de suelos de carga variable que han aparecido durante la última década han puesto de manifiesto la necesidad de poner a punto nuevos métodos de determinación de la capacidad de cambio adaptados al comportamiento particular de este tipo de suelos, en los que las cargas superficiales pueden depender notablemente de los niveles de pH y fuerza iónica y los casos de adsorción específica son más la regla que la excepción. Así, se ha introducido el uso de cationes complejos de metales con ligandos orgánicos que se adsorben fuertemente sobre los coloides del suelo: Ag-Tiourea (Ag-TU), Co-hexamín y Li-EDTA, entre otros. Estos complejos permiten la determinación de la CCC y de los cationes de cambio al pH del suelo, el intercambio tiene lugar a una fuerza iónica baja y evitan la realización de varias extracciones para desplazar totalmente el equilibrio de cambio. Además, en estos procedimientos no es necesario el desplazamiento de un catión índice adsorbido, lo cual elimina los problemas de hidrólisis o adsorción salina que pueden tener lugar con los métodos convencionales.

En este sentido, estudios realizados sobre el catión Ag-TU muestran la gran afinidad de este por los coloides del suelo. (Pleysier y Cremers, 1973, 1975). Se trata de un

cación altamente efectivo en el desplazamiento de cationes cambiables de suelos y arcillas a baja fuerza iónica (Chhabra et al. 1975).

En el presente trabajo se estudia el método de la Ag-TU en la determinación de cationes cambiables y capacidad de cambio catiónica en una serie de Andosoles procedentes de las Islas Canarias. Los resultados se comparan con los obtenidos utilizando  $\text{NH}_4\text{OAc}$  1N pH 7.

## RESULTADOS.

### K.

Las cantidades de K extraídas con  $\text{NH}_4\text{OAc}$  son notablemente superiores a las extraídas con Ag-TU observándose que a bajos valores de K ( $<0.3$  meq/100g) las diferencias no son significativas. La correlación encontrada es bastante buena ( $r = 0.959, p < 0.001$ ). Estos resultados se corresponden con los encontrados por otros investigadores en suelos de regiones templadas y tropicales (Chhabra et al. 1975; Pleysier y Juo, 1980; Pleysier et al. 1986). Estos autores atribuyen la cantidad extra de potasio obtenida con Ag-TU al potasio interfoliar, especialmente en suelos de vermiculita. Por otra parte, Searle (1986) de acuerdo con nuestros resultados, encuentra un mayor poder de extracción por parte del acetato amónico en Vitrandepts y Dystrandeps.

### Na.

Las cantidades de Na extraídas por Ag-TU son superiores a veces notablemente, en todos los suelos estudiados. Estos resultados se corresponden con los encontrados por Chhabra

al.(1975), Pleysier y Juo (1980) y Pleysier et al. (1986). En nuestro caso podría tener influencia la diferente fuerza iónica de ambos extractantes por procesos de tipo difusivo. La correlación observada no es buena como es frecuente al comparar diferentes métodos de extracción de Na.

#### Ca.

No existe una buena correlación entre los valores de Ca obtenidos por ambos métodos. Las cantidades de Ca extraídas con Ag-TU son en todos los casos superiores a las obtenidas con  $\text{NH}_4\text{OAc}$  exceptuando dos horizontes. En este sentido no hay una tendencia definida en la bibliografía consultada.

#### Mg.

Los valores de Mg obtenidos por ambos métodos están mucho mejor correlacionados que en el caso del Ca ( $r=0.918$ ,  $p<0.001$ ). Las cantidades extraídas con  $\text{NH}_4\text{OAc}$  son superiores a las extraídas con Ag-TU.

#### Suma de cationes (S) y Capacidad de cambio catiónico (CCC)

Los valores de S por Ag-TU son más elevados que los correspondientes por  $\text{NH}_4\text{OAc}$ . Estas diferencias se deben principalmente al Ca y al Na. La correlación de los valores de S entre ambos métodos es baja ( $r=0.850$ ,  $p < 0.001$ ), pero mejora ( $r=0.889$ ) al eliminar los suelos que contienen arcillas cristalinas (haloisita).

Exceptuando algunos horizontes de los perfiles más alterados, los valores de S obtenidos con Ag-TU son superiores a los de CCC (Ag-TU).

Se observa una buena correlación entre S y CCC por

Ag-TU ( $r=0.89$ ,  $p < 0.001$ ).

No se ha encontrado correlación entre CCC ( $\text{NH}_4\text{OAc}$ ) y CCC (Ag-TU), pero hay que destacar que altos valores de CCC ( $\text{NH}_4\text{OAc}$ ) mostraron frecuentemente bajos valores de CCC (Ag-TU). Esta tendencia también se ha observado al comparar la CCC ( $\text{NH}_4\text{OAc}$ ) con la obtenida por el método de Gillman (1979) (Arbelo et al., 1990) y se ha interpretado en términos de la reactividad de los suelos y sus niveles de pH y fuerza iónica.

#### BIBLIOGRAFIA.

- ARBELO, C.D. y HERNANDEZ MORENO, J.M. 1990. Estudio de dos métodos de determinación de capacidad de cambio en Andosoles: acetato amónico y cloruro de bario. Enviado a Agrochimica.
- CHHABRA, R., PLEYSIER, J.L. y CREMERS, A. 1975. The measurement of the cation exchange capacity and exchangeable cations in soils: A new method. Proc. Int. Clay Conf. Mexico.
- PLEYSIER, J.L. y CREMERS, A. 1973. Adsorption of the silver-thiourea complex in montmorillonite. Nature Phys. Sci. 243:86-87.
- PLEYSIER, J.L. Y CREMERS, A. 1975. Stability of silver-thiourea complexes in montmorillonite clay. J. Chem. Soc. Faraday Trans. 71:256-264.
- PLEYSIER, J.L. y JUO, A.S.R. 1980. A single-extraction method using silver-thiourea for measuring exchangeable cations and effective CEC in soils with variable charges. Soil Sci. 129:205-211.
- PLEYSIER, J.L., JANSSENS, J. y CREMERS, A. 1986. Extraction

of cations from some kaolinitic soils of the tropics. Proc. Int. Work. Lab. Methods and data exchange programme. L.K. Pleijsier (Ed). p 51-65. Wageningen. The Netherlands.

SEARLE, P.L. 1986. The measurement of soil cation exchange properties using the single extraction, silver thiourea method: an evaluation using a range of New Zealand soils. Aust. J. Soil Res. 24:193-200.

**TITULO: Capacidad de Cambio actual y potencial en Andisoles y Ultisoles.**

**Autores: M. ESPINO, C.D. ARBELO, J.M. HERNANDEZ-MORENO**

**PLANTEAMIENTO Y OBJETIVOS.**

La capacidad de cambio catiónica (CCC) determinada con sales tamponadas a pH 8.2 o 7 se aproxima a la carga negativa intrínseca máxima de un suelo, es decir, representa la capacidad potencial de un suelo para adsorber cationes, mientras que la CCC determinada con sales no tamponadas representa la capacidad actual de un suelo para adsorber cationes en unas condiciones determinadas (Sposito, 1989). Las diferencias de CCC obtenidas por ambos métodos pueden ser considerables en suelos de carga variable, especialmente en Andosoles. Es evidente que ambos tipos de medidas son útiles en la caracterización de los suelos, pero el coste analítico es elevado.

En el presente trabajo se comparan dos métodos de determinación de CCC:  $\text{NH}_4\text{OAc}$  1N pH 7 y el método de la plata-tiourea, AgTU (Chhabra et al., 1975). El objetivo es tratar de predecir la CCC potencial a partir de la CCC actual utilizando un método rápido y sencillo como el de la AgTU y otros parámetros de diagnóstico del suelo.

Los suelos estudiados incluyen Andisoles y Ultisoles con carácter ándico naturales y cultivados.

## RESULTADOS Y DISCUSION.

Se ha obtenido una elevada correlación entre la CCC.AgTU y la CC efectiva ( $\Sigma$ bases AgTU + acidez cambiable), ( $r = 0.94$   $P < .001$ ) por lo que puede utilizarse cualquiera de estos índices para comparar con la CCC potencial, determinada con  $\text{NH}_4\text{OAc}$ . En la figura 1 se observa que CCC.AgTU y CCC. $\text{NH}_4$  están correlacionadas negativamente, hecho que, en principio, puede resultar conceptualmente contradictorio.

Por una parte, la CCC. $\text{NH}_4$  está correlacionada con el Al activo, Alo (oxalato amónico pH 3) lo cual refleja la capacidad de la alofana y complejos organominerales de Al para desarrollar carga negativa a niveles altos de pH y fuerza iónica. Por otra parte, exceptuando el grupo de Ultisoles, la CCC.AgTU está correlacionada negativamente con Alo. Estos resultados explican la relación observada en la figura 1.

En la figura 3 se comparan CCC.AgTU, Alo y el contenido de arcilla cristalina (fundamentalmente haloisita). Los suelos que cumplen el requisito de Andisoles ( $\text{Alo} + 1/2 \text{ Feo} > 2$ ) y no contienen arcillas dan valores bajos de CCC.AgTU.

El análisis de los resultados sugiere el interés del parámetro Alo/CCC.AgTU como diferenciador entre los tipos de suelos. De acuerdo con el estudio de correlación, el

significado de este parámetro sería equivalente a  $(CCC.NH_4 - CCC.AgTU) / CCC.AgTU$ , es decir, informaría sobre la variación relativa de la capacidad de cambio al aumentar el pH y la fuerza iónica a las condiciones del método del acetato amónico.

Los suelos que no cumplen el criterio de Andisol dan sin excepción valores de  $A_{10}/CCC.AgTU$  inferiores a 0.3. Los Andisoles dan en general valores superiores, hasta 1.8; aquellos que dan valores por debajo de 0.3 son en general los suelos fertilizados que presentan las siguientes características: fuerza iónica alta (superior a  $10^{-2}M$ , en comparación con la fuerza iónica de los Andisoles naturales, del orden de  $5 \cdot 10^{-3}M$ ) y contenidos elevados de materia orgánica y haloisita.

#### CONCLUSIONES.

El parámetro  $A_{10}/CCC.AgTU$ , obtenido con un índice de clasificación,  $A_{10}$ , y un índice de la capacidad de cambio actual determinado por un procedimiento sencillo, está relacionado con las características de variación de la capacidad de cambio al aumentar el pH y la fuerza iónica.

Por otra parte, se ha puesto de manifiesto que uno de los efectos de las prácticas de manejo de los suelos estudiados (elevada fertilización e incorporación de materia orgánica y laboreo) es el aumento de la fuerza iónica del suelo y su aproximación a su estado de carga negativa máxima.

**BIBLIOGRAFIA.**

CHHABRA, R.; PLEYSIER, J.L., and CREMERS, A. (1975). "The measurement of the cation exchange capacity and exchangeable cations in soils: A new method". Proc. Int. Clay Conf. Mexico. 1975.

SPOSITO, G. (1989). "The Chemistry of Soils". Oxford University Press. 277p.

FIG. 1

63

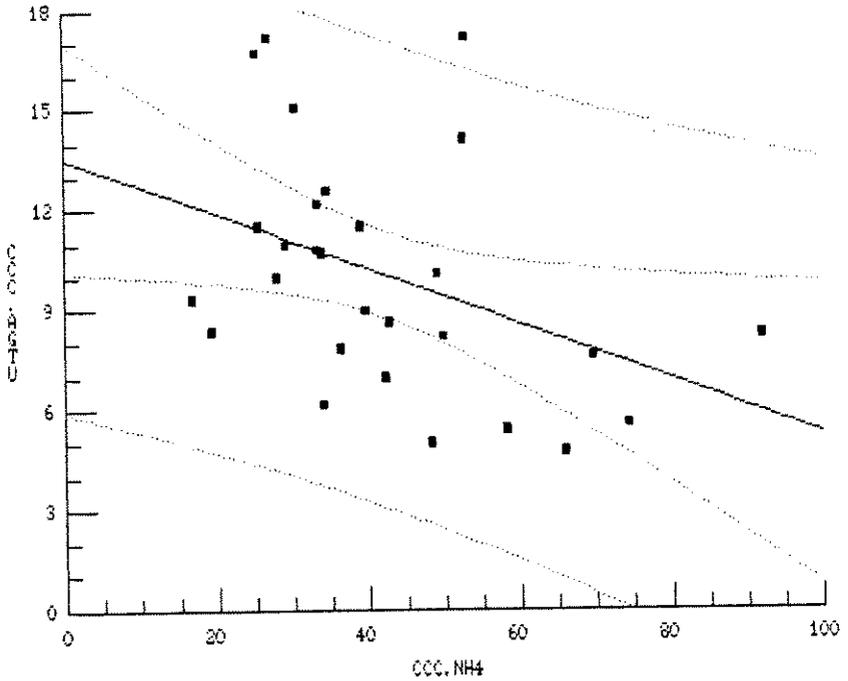
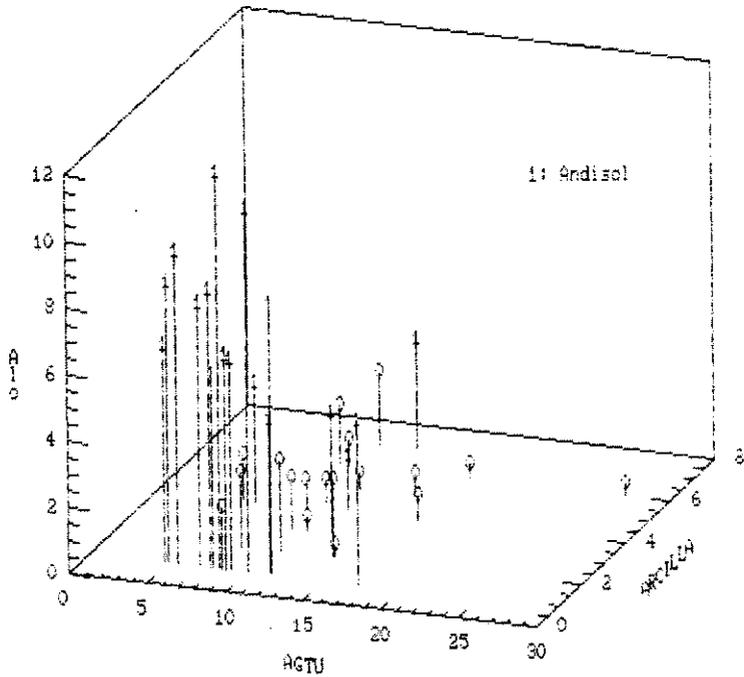


FIG. 2



# APLICACION DEL FACTOR DE RETENCION A LA ESTIMACION DE LAS NECESIDADES DE FERTILIZACION FOSFATADA EN VERTISOLES DE LA PROVINCIA DE BADAJOZ.

A. GARCIA NAVARRO Y A. LOPEZ PIÑEIRO

Cátedra de Edafología y Química Agrícola. Universidad de Extremadura.

## OBJETIVOS

En el presente trabajo hemos pretendido estimar las necesidades de fertilización fosfatada en Vertisoles de la Provincia de Badajoz, considerando el factor capacidad de adsorción que presentan los diferentes suelos; para ello previamente se ha determinado el nivel crítico mediante un ensayo biológico.

## INTRODUCCION

Los Vertisoles, o más ampliamente los suelos vérticos, no están muy extendidos en la Provincia de Badajoz, pero constituyen los suelos más utilizados en cultivo de secano y sobre los que se asientan las mejores viñas de Tierra de Barros.

En el sistema suelo, uno de los factores más importantes en el control de la asimilabilidad del fósforo es la capacidad de éste para reponer la pérdida de este elemento en la solución del mismo. Este factor expresaría la posibilidad de mantener una concentración óptima de la solución del suelo, cuando se produce una extracción continua de fósforo por las plantas.

La propiedad de adsorción que ejerce los distintos componentes edáficos sobre el fósforo es de vital importancia, ya que puede servir de guía para la determinación de la cantidad de P disponible, a corto y largo plazo, para las plantas y poder efectuar fertilizaciones eficaces con este elemento.

En una situación ideal el método Olsen, comunmente utilizado en suelos neutros y calcáreos, tendría que extraer una porción de P lábil que estuviera relacionada con la facilidad con que las plantas extraen dicho fosfato lábil, en definitiva debería calibrar la capacidad tampón del suelo. En la práctica (Solis y Torrent, 1989; Kamprath y Watson, 1980; etc.) el método subestima o sobrestima esta capacidad tampón, por lo que se hace imprescindible tener

en cuenta el factor de retención de fosfato en la evaluación de las necesidades de este elemento, sobre todo cuando el tipo de suelo estudiado presenta importantes capacidades máximas de adsorción como es el caso que nos ocupa.

## MATERIALES

Para el desarrollo de este trabajo se han empleado diez y nueve muestras de capa arable correspondientes a Vertisoles en sentido amplio, representativas de todas las áreas existente en la Provincia, basándonos en la distribución establecida por Guerra y col. (1968).

## MÉTODOS UTILIZADOS

Para determinar la retención y por tanto el factor de recuperación de fosfato, se ha utilizado el método de incubación rápida propuesto por Kunishi y Vickers (1980).

El cálculo del nivel de suficiencia ha sido estimado mediante la realización de un ensayo biológico siguiendo las recomendaciones de Chaminade (1960); estableciendo los porcentajes de rendimiento del tratamiento sin fósforo frente al que se le suministró abono completo.

El método de determinación de P utilizado para analizar el nivel existente así como el de suficiencia es el de Olsen (1967).

Para la ordenación de datos estadísticos hemos utilizado programas propios y un ordenador Unisys PC-800.

## RESULTADOS Y DISCUSION

La Tabla nº 1 muestra los resultados del contenido de fósforo de cada muestra y del porcentaje de rendimiento obtenido. En ella se pone de manifiesto que todas las muestras estudiadas presentan deficiencias en fósforo, pues ninguna de ellas ha alcanzado el nivel óptimo en su crecimiento, equivalente al ofrecido por el tratamiento con abono completo.

A la vista de los valores encontrados en la tabla anterior, y teniendo en cuenta que la relación existente entre dichas variables es buena, hemos efectuado un análisis de regresión inversa, considerando el contenido de P como variable dependiente y el rendimiento como independiente, con la finalidad de estimar los niveles de (Olsen) requeridos para la consecución de unos rendimientos

preestablecidos; dichos niveles se presentan en la Tabla nº 2.

De la Tabla anterior se deriva que cuando las concentraciones de P determinado por el método de Olsen no alcanzan el valor de 5 ppm, las deficiencias serán extraordinariamente graves; moderadamente graves entre 13 y 20 ppm; las deficiencias serán medias cuando la concentración está comprendida entre 20 y 28 ppm. El nivel crítico o de suficiencia se sitúa en 32 ppm y, como se comprueba en la mencionada tabla, se corresponde con el 90 % del óptimo para el rendimiento en materia seca.

Teniendo en cuenta los contenidos actuales de P asimilable extraído según Olsen y la influencia de la capacidad de adsorción de cada una de las muestras hemos construido la Tabla nº 3. En ella se exponen las necesidades de fertilización fosfatada, calculadas según las recomendaciones de Mclean y col. (1982), para cada una de las muestras, considerando como nivel de suficiencia el deducido de la experiencia biológica efectuada. Los distintos factores o índices de recuperación de fosfato han sido obtenidos a partir de las concentraciones encontradas en las extracciones con el método de Olsen después de someter las muestras a incubación adicionando 0 y 100 ppm de fósforo aplicando la siguiente fórmula:

$$fr = (P_{100} - P_0) / 100$$

Al examinar los índices de recuperación es observable que los valores de dichos índices son bajos y, en general, inferiores a los encontrados en la bibliografía revisada; sin embargo se trata de suelos con carácter más ácido y una capacidad de retención más baja que los suelos analizados.

Un estudio de las diferentes dosis de P a aplicar en los distintos suelos, nos revela la relativamente elevada varianza en algunos de ellos; ello podría estar motivado por el nivel inicial de fosfato en el suelo y el factor capacidad de retención del mismo. Además habría que considerar, en otra etapa de este estudio, la naturaleza del agente responsable de la fijación que, como es bien conocido, es mayor en el aluminio que en el hierro.

No obstante, la fertilización óptima sólo puede conseguirse a lo largo del tiempo, y es por ello que también se exponen, en la Tabla nº 3, el número de años requerido en cada caso para lograr el nivel crítico de P (corregido) y regenerar el estado de fertilidad del suelo, aplicando en cada anualidad un suplemento de 10 Kg P/Ha. a las recomendaciones generales que los programas de fertilización más usuales para el cultivo de cereales, aconsejan en las condiciones edafo-climáticas que nos ocupan, teniendo en cuenta la extracción del nutriente

efectuado por el cultivo.

El añadir un suplemento de 10 Kg P/Ha y año está en base conseguir el objetivo principal de la fertilización, e decir, obtener la máxima eficacia en el abonado mediante l aplicación de una dosis economicamente rentable, sin riesgo de una fuerte alteración en el equilibrio de los diferentes nutrientes, asegurando una reducción, en la medida de lo posible, de las pérdidas del P aplicado que, si bien este elemento al ser considerado de escasa movilidad, no se producen por lavado, pero sí que pueden ocasionarse por fenómenos erosivos.

### **BIBLIOGRAFIA**

GARCIA NAVARRO, A. Y LOPEZ PINEIRO, A. (1987) - "Nivel de fertilidad de los Vertisoles de la Provincia de Badajoz (España). I. Características generales de la capa arable." - An. Edaf. Agrobiol. 46, (11-12) P. 1303-1318.

GUERRA DELGADO, A. Y COLS. (1968) - "Explicación del mapa Provincial de suelos." - Inst. Nal. Edaf. - C.S.I.C. Madrid.

KUNISSHI, H.; VICKERS, J. C. (1980) - "Adsorption curve and phosphorus requirements of acid soils." - Soil Sc. 129, p. 28-35.

MCLEAN, E.; OLOYA, T.O.; ADAMS, J. L. (1979) - "Soil test to inventory the initially available levels and to assess the fates of added P and K as bases for improved fertilizer recommendations." - Comm. Soil Sci. & Plant Anal., 10: p. 623-630.

OLSEN, S.R.; COLE, C.U.; WATANABE, F. S.; DEAN, L.S. (1954) - "Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate." - U.S. Dept. Agric. Circ., 939.

SOLIS, P.; TORRENT, J. (1989) - "Phosphorus sorption to calcareous Vertisols and Inceptisols of Spain." - Soil Sci. Soc. Am. J., 53 (2) 456-459.

## NIVELES DE P Y PORCENTAJES DE RENDIMIENTO

Muestra	P ppm	Rend. %	Muestra	P ppm	Rend. %
1	9.70	38.64	11	21.70	59.06
2	14.00	47.26	12	23.20	67.23
3	16.30	51.70	13	11.20	55.90
4	16.60	55.46	14	8.40	48.70
5	6.60	45.99	15	13.60	27.33
6	17.00	94.43	16	32.10	67.24
7	23.60	67.69	17	24.70	60.87
8	26.70	74.80	18	22.10	39.10
9	21.70	63.88	19	8.80	33.94
10	44.15	20.20			

TABLA 1

Niveles estimados de P (Olsen) para la  
obtención de rendimientos establecidos

RENDIMIENTO %	P (OLSEN) ppm
10	1.57
20	5.38
30	9.19
40	13.00
50	16.81
60	20.62
70	24.43
80	28.24
90	32.05
100	35.86

Tabla 2

**Necesidades de fertilización fosfatada estimadas mediante la aplicación del índice de recuperación**

Muestra	Pe (ppm)	Ir	Pf (ppm)	* nº años
1	9.7	0.670	33.3	14
2	14.0	0.742	24.2	10
3	16.3	0.323	48.6	20
4	16.6	0.403	38.2	15
5	6.6	0.501	50.7	22
6	17.0	0.511	29.3	12
7	23.6	0.408	20.6	8
8	26.7	0.640	8.3	3
9	21.7	0.471	21.8	9
10	20.2	0.489	24.1	10
11	21.7	1.000	10.3	4
12	23.2	0.712	12.3	5
13	11.2	0.391	53.2	22
14	8.4	0.797	29.6	13
15	13.6	0.623	29.5	13
16	32.1	0.336	0.0	--
17	24.7	0.689	10.6	4
18	22.1	0.807	12.3	5
19	8.8	0.405	57.3	24

Pe= Nivel de P existente en el suelo

Ir= Índice de recuperación

Pf= Necesidades de fertilización fosforada

\* Tiempo en alcanzar el nivel crítico suplementando con 10 Kg P/ Ha y año

Tabla 3

## FORMAS DE AZUFRE EN SUELOS DE GALICIA

Agustín MERINO y Eduardo GARCIA-RODEJA.

Dpto. Edafología y Química Agrícola. Fac. Biología. Univ. Santiago de Compostela.

### RESUMEN

Se ha procedido a la determinación de las fracciones de S total, orgánico, soluble en agua y adsorbido. En los horizontes superficiales la fracción más abundante es el S orgánico, mientras que en los subsuperficiales lo es el S soluble o el adsorbido. Es última forma es abundante en los suelos de gabros y en los B de pizarra, y se hace mínimo en los de granitos. El S total y el orgánico se relacionan con la materia orgánica ( $r= 0.8$  y  $0.86$ , respectivamente); el S adsorbido lo hace con el Fe libre total ( $r= 0.70$ ) y con el Fe cristalino ( $r= 0.80$ ).

### INTRODUCCION

El interés por el S del suelo se ha visto incrementado considerablemente en los últimos años a raíz de las cada vez más frecuentes noticias de deficiencias en cultivos y de sus efectos degradativos, a través de la deposición ácida, en ecosistemas de bosque.

La mayor parte del S edáfico se encuentra incluido en la fracción orgánica, presentándose en forma éster-SO<sub>4</sub> o ligado al C (Acquaye y Kang, 1987; David y Mitchell, 1987). Otro importante factor que define el ciclo del S es la capacidad del suelo para adsorber SO<sub>4</sub>; los aniones se adsorben preferentemente sobre las superficies de las formas libres de Fe y Al, y el SO<sub>4</sub>, al igual que el PO<sub>3</sub>, se une específicamente, mediante intercambio de ligando (Hingston, 1981). En este sentido, ha sido demostrada una clara dependencia entre la capacidad de adsorción de SO<sub>4</sub> y diversas fracciones de Fe y Al (Chao et al., 1965; Johnson y Todd, 1983; Fuller et al., 1985), influyendo además, el pH (Kamprath et al., 1956; Nodvin et al., 1986) y, en algunas ocasiones, el contenido de materia orgánica (Singh, 1984) o de arcilla (Chao et al., 1962).

En un trabajo anterior (Merino et al., 1990) fueron establecidas las dependencias entre el contenido de S total, la materia orgánica, la vegetación y la localización geográfica en los suelos de Galicia. En el presente estudio se define el contenido, naturaleza y distribución de las fracciones de S para algunos de los suelos más representativos del NW peninsular.

### MATERIAL Y METODOS

Se han empleado un total de 19 muestra pertenecientes a 8 suelos representativos de los más abundantes de Galicia; los materiales de partida considerados son gabros (2 perfiles), esquistos (2), pizarras (2), granitos (1) y anfibolitas (1).

Todos ellos localizados bajo vegetación natural, con Régimen de Temperatura México y de Humedad, Udico.

Se ha determinado la textura mediante el método internacional de análisis mecánico; el C total, por el método de oxidación ácida de Sauerlandt; el N por el de Kjeldahl; el pH ha sido determinado en agua (relación 1:2.5) (Guitian y Carballas 1976). En cuanto a los métodos de extracción selectiva de determinación de las diferentes fracciones de Fe y Al libres (en forma cristalina, amorfa o ligada a la materia orgánica) han sido utilizadas las extracciones con ditionito-citrato-bicarbonato (Mehra y Jackson, 1960), pirofosfato sódico (Bascomb, 1968), oxalato amónico tamponado a pH de 3 (Mackeague y Day, 1966). Los análisis de Fe y Al se han realizado mediante espectrofotometría de absorción atómica.

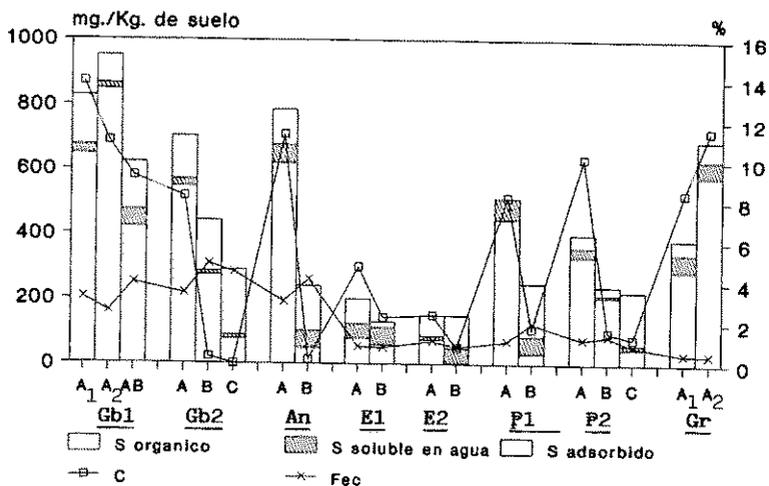
Han sido consideradas 5 formas de S: total, orgánico total adsorbido y soluble en agua. La extracción del  $SO_4$  inorgánico total se ha realizado mediante agitación de 4 g. de tierra fina con 40 ml de solución 0.016 M  $KH_2PO_4$  durante 16 horas; la de S soluble, equilibrando con agua durante el mismo tiempo y en la misma proporción. El  $SO_4$  extraído por estos procedimientos fue analizado por el método de Bardsley y Lancaster, 1960; el S total, con autoanalizador LECO modelo SC-132. El S orgánico se estimó sustrayendo, al S total, el S inorgánico; y el S adsorbido, sustrayendo al S inorgánico, el S soluble (Johnson y Henderson, 1979).

Las dependencias existentes entre las diferentes formas de S y el resto de los parámetros edáficos se han establecido a través de análisis de regresión. En la matriz de correlación elaborada se han incluido el Fe y el Al extraídos por diferentes métodos de extracción selectiva Fe<sub>p</sub> (pirofosfato), Fe<sub>o</sub> (oxalato) y Fe<sub>c</sub> (DCB), así como las formas amorfas, Fe<sub>a</sub> (Feo-Fe<sub>p</sub>) y las cristalinas Fe<sub>c</sub> (Fed-Feo).

## RESULTADOS Y DISCUSION

Los horizontes A contienen entre 150 y 940 mg de S total/Kg de suelo, siendo la media de 550; para los horizontes subsuperficiales (AB, B y/o C) este rango es de 130-620 mg./Kg. y la media de 290. Los mayores y menores contenidos en S total coinciden con los valores extremos de materia orgánica, relacionándose significativamente con el porcentaje de la misma (tabla 1). El contenido de S total se relaciona estrechamente con el del S orgánico (0.97); en los horizontes A esta última fracción supone la forma más abundante de S, donde representa, por término medio, el 76% en los horizontes no superficiales es menos importante, contribuyendo en un 35%. Estas observaciones coinciden con las relaciones que encuentran Neptune et al. (1975) y Acquaye y Ka (1987).

Para estas dos formas de S, total y orgánico, se aprecian también elevados coeficientes de correlación con el Fe y Al extraídos en oxalato y pirofosfato, los cuales parecen ser in



**Figura 1.** Formas de S y porcentaje en C y Fe cristalino. Gb, suelos de gabros; An, de anfibolitas; E, de esquistos; P, de pizarras; Gr, de granitos.

	S total		S inorg.		S org.		S solub.		S adsorb.	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Fep	0.42	0.53	-0.47*	0.03	0.55*	0.59	0.55*	0.64*	-0.55*	-0.15
Alp	0.76*	0.76*	-0.12	0.16	0.51*	0.50*	0.23	0.45	-0.19	-0.01
(Fe+Al)p	0.71*	0.71*	-0.27	0.13	0.50*	0.75*	0.35	0.55	-0.37	-0.04
Feo	0.69*	0.56	-0.12	0.30	0.74*	0.50	0.49*	0.77*	-0.24	0.03
Alo	0.53*	0.52*	0.14	0.35	0.53*	0.75*	0.30	0.53	0.04	0.17
(Fe+Al)o	0.54*	0.75*	0.06	0.34	0.54*	0.73*	0.39	0.63	-0.06	0.14
Fed	0.53*	0.66*	0.75*	0.70*	0.35	0.42	-0.07	0.13	0.71*	0.64*
Ald	0.67*	0.54*	0.02	0.39	0.62*	0.76*	0.31	0.50	-0.35	0.23
(Fe+Al)d	0.67*	0.75*	0.64*	0.60	0.54*	0.57	0.05	0.23	0.57*	0.60
Fea	0.46*	0.31	0.60*	0.45	0.32	0.12	-0.11	0.59	0.55*	0.29
Ala	0.59*	0.75*	0.54*	0.39	0.45*	0.66	0.27	0.54	0.41	0.42
(Fe+Al)a	0.55*	0.70*	0.62*	0.63	0.44	0.54	0.10	0.62	0.54*	0.42
Fec	0.32	0.62	0.51*	0.70*	0.13	0.35	-0.22	0.01	0.50*	0.65*
C	0.50*	0.70*	-0.13	0.11	0.56*	0.75*	0.35	0.49	-0.24	-0.04
N	0.20	-0.43	-0.30	-0.47	0.30	-0.33	0.53*	0.17	-0.32*	-0.47
Avr	0.33	-0.26	-0.03	-0.40	0.34	-0.06	0.06	0.44	-0.05	-0.62
pH	0.41	0.53	0.12	0.31	0.25	0.46	-0.12	0.53	0.14	0.13

**Tabla 1.** Matriz de correlación entre las formas de S y el resto de parámetros edáficos. 1, horizontes A; 2, horizontes subsuperficiales (\*), relaciones significativas (p 0.05).

rectos ya que estas mismas fracciones se relacionan a su vez con el porcentaje de C.

No se observa ninguna otra relación con el porcentaje de arcilla, el pH o el N. En cuanto al papel que desempeña la textura en el contenido de S total, no existe unanimidad entre los autores que investigan el tema, en este sentido, Biederbeck (1978) no encuentra ninguna relación entre ambos parámetros, mientras que Acquaye y Kang (1987) encuentran una ligera dependencia en horizontes superficiales ( $r = 0.51$ ).

El contenido de S total de los horizontes superficiales varía también con el material de partida, y, en los suelos de Galicia, este elemento disminuye en la secuencia: sedimentos fluviales > gabros > pizarras > granitos > esquistos y anfibolitas (Merino et al., 1990). Con la única salvedad del suelo de anfibolitas, donde aparece una elevada cantidad de S total debido a su importante contenido en materia orgánica, los valores obtenidos en el presente trabajo, independientemente del tipo de horizonte (superficial o no), se encuentran dentro de los rangos exhibidos por cada material de partida, y siguiendo, además, esta misma secuencia (figura 1).

El contenido de S inorgánico total en los horizontes A oscila entre 42 y 66 mg./Kg., con un promedio de 103; para los horizontes subsuperficiales este rango es de 34-217 y la media, 157. En general representa la forma más abundante de los horizontes subsuperficiales; en valores medios constituye en éstos el 61%, y en los superficiales, el 26 %.

Las cantidades de S inorgánico soluble en agua van desde 11 a 65 mg/Kg. (media, 38) para los horizontes A y desde 8 a 54 (media 30) para los subsuperficiales; representa, por término medio, el 46.8 y el 25.3 % del S inorgánico total, respectivamente. Con frecuencia, los mayores contenidos se encuentran en los horizontes superficiales, fenómeno que ha sido comentado por diferentes autores (Johnson y Todd, 1983; Fuller et al., 1985) y que, posiblemente esté motivado por los elevados contenidos en materia orgánica, la cual se cree posee una influencia negativa en la adsorción de  $SO_4$ , así como a la mayor tasa de mineralización de S en estos horizontes. Los mayores valores de S soluble los presenta uno de los suelos de pizarras y el de anfibolitas, los menores, los dos de gabros. No obstante, resulta difícil establecer alguna tendencia del contenido de S soluble con el material de partida.

El S adsorbido se relaciona estrechamente con el S inorgánico total ( $r = 0.94$ ) y, al igual que éste, los máximos aparecen en los suelos de gabros y en los horizontes B de pizarras, mientras que los mínimos, en los de granitos. A medida que aumenta la profundidad incrementa la cantidad de S inorgánico adsorbido, así como el porcentaje de contribución en el S total. Las dos únicas salvedades las constituye los dos suelos de esquistos, donde los mayores contenidos de óxidos de Fe en los horizontes A determinan una importante participación de esta forma de S. En los horizon-

los A el rango va desde 0 hasta 153 mg./Kg. (media, 673) y en los subsuperficiales desde 17 a 201 mg./Kg. (media, 124).

El S total inorgánico y adsorbido se relacionan significativamente con el Fed y con Fec; cuando se consideran tan solo los horizontes subsuperficiales estas relaciones empeoran en parte. Ninguna de las formas de Al ha resultado significativamente relacionada, y cuando se adiciona este elemento como suma con el Fe, disminuye el coeficiente. No existen dependencias significativas con el contenido en materia orgánica, arcilla, pH o con otras fracciones de Fe. Las regresiones múltiples realizadas, empleando Fed o Fec junto al porcentaje de C o el de arcilla, no suponen una mejora notable del valor de r.

Los resultados obtenidos en el análisis de regresión presentado se ajustan estrechamente a los observados por Johnson y Todd (1983), también coinciden con los observados por Fuller et al. (1985) y con los de Camberato y Kamprath (1986), salvo para la buena relación que encuentran, en ocasiones, los primeros autores con el Alp, y con la dependencia que los segundos observan con el contenido de arcilla. El material de partida constituye una de los principales fuentes de variabilidad de las fracciones de S; en el presente trabajo la heterogeneidad de este factor puede estar solapando dependencias de otros factores que serían observables sólo al comparar suelos semejantes.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ACOUAYE, D.K.; KANG, B.T. (1987). *Soil Sci.*, 144, 43.
- BARSLEY, C.E.; LANCASTER, J.D. (1960). *Soil Sci.Soc.Am.Proc.*, 24, 265
- BASCOM, C.L. (1968). *J.Soil Sci.*, 19, 251.
- BIEDREBECK, V.O. (1978). In *Soil Organic matter*. M. Schnitzer y S.M. Khan (eds.). Elsevier, Amsterdam, 270.
- CAMBERATO, J.J.; KAMPRATH, E.J. (1986). *Soils Sci.*, 142, 211.
- DAVID, M.B.; MITCHELL, M.J. (1987). *Japca*, 37, 39.
- CHAO, T.T.; HARWARD, M.E.; FANG, S.C. (1962). *Soil Sci.*, 94, 276.
- CHAO, T.T.; HARWARD, M.E.; FANG, S.C. (1965). *Soil Sci.*, 99, 104.
- FULLER, R.D.; DAVID, M.B.; DRISCOLL, T. (1955). *Soil Sci.Soc. Am.J.*, 49, 1030.
- GUIÑAN, F.; CARBALLAS, T. (1975). *Técnicas de Análisis de suelo*. Pico Sacro (ed.), Santiago. La Coruña, 285 p.
- HINGSTON, F.S. (1961). In H.A. Anderson y A.J. Rubin (eds.), *Adsorption of inorganics at solid-liquid interfaces*. Ann Arbor Science, Ann Arbor, MI.
- JOHNSON, D.W.; HENDERSON, G.S. (1979). *Soil Sci.*, 128, 34.
- JOHNSON, D.W.; TODD, D.E. (1983). *Soil Sci.Soc.Am.J.*, 47, 792.
- KAMPRATH, E.J.; NELSON, W.L.; FITTS, J.W. (1956). *Soil Sci.Soc.Am. Proc.*, 20, 463.
- MACKEAGUE, J.A.; DAY, J.H. (1966). *Can.J.Soil Sci.*, 46, 13.
- MEHRA, O.P.; JACKSON, M.L. (1960). *Clays and clay Min.Proc.* 7th Cont.Natl.Acad.Sci.Natl.Rés. Council Publ. Washington.
- MERINO, A.; MONTERROSO, C.; GARCIA-RODEJA, E. (1990). *Ann.Edafol. Agrobiol.*, 48, 615.
- NEPTUNE, A.H.; TABATABAI, M.A.; HANWAY, J.J. (1975). *Soil Sci.Soc. Am.Proc.*, 39, 51.
- NODVIN, S.C.; DRISCOLL, C.T.; LIKENS, G.E. (1986). *Soil Sci.*, 142, 69.
- SINGH, B.R. (1954). *Soil Sci.*, 135, 294.

## PROCESOS DE ACIDIFICACION EN SUELOS. ALGUNOS EJEMPLOS DE SUELOS DE GALICIA

URRUTIA MERA, M.M.; GARCIA-RODEJA, E.; MACIAS VAZQUEZ, F.  
Dpt. Edafología y Química Agrícola. Fac. Biología. Universidad de Santiago de Compostela.

### INTRODUCCION

Un suelo ácido es, en la definición clásica, aquel en el que la cantidad de iones  $H^+$  libres es superior a la de cationes alcalinos o alcalinotérreos y, por tanto, su pH es inferior a 7. Como generalmente se denomina suelo neutro a aquel de pH entre 7,3 y 6,6, los suelos ácidos serán los de pH inferior a 6,6 (Lozet y Mathieu, 1986). Además, se caracterizan por la presencia de iones ácidos en posiciones de cambio (principalmente Al y a veces Fe, Mn, etc).

Sin embargo, pH y acidez no son equivalentes pues son conceptos químicamente distintos; ni el pH se puede considerar como una medida de la acidez ni ambos parámetros varían proporcionalmente (Clark y Thompson, 1989). Si en el medio acuoso la relación entre pH y acidez depende del ácido considerado, como muestran Clark y Thompson, también en el suelo depende de la composición global. Esta relación fue descrita por Van Breemen y colaboradores (1983) por medio de los conceptos de Capacidad de neutralización de ácidos (CNA) y Capacidad de neutralización de bases (CNB) refiriéndose, respectivamente, al conjunto de componentes básicos o a la suma de componentes ácidos del sistema en las condiciones de cada medio. Las variaciones en el estado ácido-base del suelo se manifiestan como ascenso o descenso de la CNA o de la CNB. La acidificación se define como un descenso en la CNA (es decir, pérdida de componentes básicos) y el proceso opuesto significaría una alcalinización. Por tanto, puede haber acidificación sin descenso del pH; por ejemplo, la amortiguación del pH por disolución de carbonatos en suelos calizos o por solubilización de Al en suelos ácidos; en ambos casos, el pH no se modifica pero el suelo se acidifica.

### Proceso de acidificación

El proceso de acidificación es inherente a la dinámica de formación del suelo cuando la pluviosidad es abundante y el sistema abierto. En estas condiciones, cualquier material geológico dará lugar a un suelo ácido en un tiempo más o menos largo, según la fuerza ácida de la precipitación en cada medio. Todos los demás factores que intervienen en la edafogénesis contribuirán a conferir al suelo propiedades diversas, dentro del término general de suelo ácido.

Las reacciones que tienen lugar durante todo el proceso se pueden resumir en el esquema de la figura 1.

La evolución de un suelo hacia una acidez creciente pasa por la sucesión de diversos rangos amortiguadores del pH, solapados entre sí; estos rangos se caracterizan por medio de los componentes que actúan como agente neutralizador y definen las reacciones que predominan en el sistema edáfico. En esencia, los rangos serían los enunciados por Ulrich (1986) y las características del suelo, las que se mencionan en la tabla 1.

**ENTRADAS**

LLUVIA (eq.  $Pco_2$ )  
(pH 5,6;  $Act = 1,8 \cdot 10^{-3} M H_2CO_3$ )

COBERTURA VEGETAL

Lavado Esgurrido  
 $Ca^{2+}, Mg^{2+}, H^+, NO_3^- \dots$

HOJARASCA

REACCIONES  
EN EL  
SUELO

Absorción Vegetal

$H^+$ ,  
ác. húmicos

**COMPONENTES DEL SUELO**

$HCO_3^-, Ca^{2+}$

<----- Disolución

$SO_4^{2-}$

$Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+, K^+$

<----- Meteorización silicatos  
Al, Fe, Si

$Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+, K^+, Al, Fe \dots$

LAVADO

$Ca^{2+}, Mg^{2+}$

<----- Cambio iónico (Coloides org. e inorg.)  
(Complejos de esfera externa)

Al, Fe

$H^+$

<----- Complejación orgánica  
(Complejos de esfera interna y quelatos)

Hidrox-Al

$H^+, NO_3^-$

<----- Ciclo del N  
(Nitrificación ( $H^+$ ), amonificación ( $OH^-$ ))

$OH^-, NH_4^+$

$Fe^{3+}, SO_4^{2-}, H^+$

<----- Procesos de oxidación ( $H^+$ )-reducción ( $OH^-$ )  
(Fe, S, ...)

**SALIDAS**

$HCO_3^-$

$Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+, K^+, OH^-$

Al, Fe, Mn,  $H^+$ ,  $NH_4^+$

$NO_3^-, SO_4^{2-}, Si$

Ac. húmicos

( $H^+$ ): proceso que genera  $H^+$ ; ( $OH^-$ ): proceso que consume  $H^+$   
 $Act =$  Acidez total.

Fig. 1.- Procesos naturales de acidificación .

SUSTANCIA AMORTIGUADORA	RANGO DE pH	ACIDOS	REACCION	CARACTERISTICAS DEL SUELO
RANGO DE LOS CARBONATOS	8,6 - 6,2	*CO <sub>2</sub> , CO <sub>3</sub> H <sup>-</sup> *Grupos SiOH (pH7) *Polimeros Aluminicos *Ac.Orgánicos (carboxilicos y Fenó1) *Ac.inorgánicos fuertes	DISOLUCION LIXIVIACION DE Ca	SUELO BASICO/NEUTRO SATURADO EN BASES (V50%)
RANGO DE LOS SILICATOS PRIMARIOS	Toda la escala		FORMACION DE MINERALES DE LA ARCILLA (Aumento de la CICE)	Cesion de elementos por alteración mineral (en todo tipo de suelo)
RANGO DEL INTERCAMBIO CATIONICO	5 - 4,2	*Hidrolisis de cationes (Al,....) *Ac.Org. carboxilicos *Ac.inorgánicos fuertes	FORMACION Al(OH) <sub>x</sub> (3-x)+ no cambiable BLONQUEO CARGA PERMANENTE REDUCCION CIG FORMACION Mn <sup>2+</sup> CAMBIABLE REDUCCION SATURACION EN BASES FORMACION Al <sup>3+</sup> CAMBIABLE REDUCCION SATURACION EN BASES FORMACION HIDROXI-AL- -SULFATO	SUELO ACIDO *Reducción de la CICE por -blonqueo de la carga permanente -disminución de las cargas variables *Desaturación del Complejo de Cambio (V45%) *Aluminización del Complejo de Cambio *Retención de la mineralización de la materia orgánica *Mayor desaturación: Caracter glicol(Sat.Al mayor del 60%) *Presencia de Fe, Mn,.... en el Complejo de Cambio; fije- ción de PO <sub>4</sub> por Al; inhibición de la nitrificación y de otros procesos microbianos.
RANGO DEL ALUMINIO	pH menor 4,2	*Ac.Org.carboxilicos de pK menor de 4 *Hidrolisis del Fe *Ac.inorgánicos fuertes	A) EN SOLUCION REDUCCION CARGA PERMANENTE	*Toxicidad por Aluminio *Reducción de la CICE por disminución de carga permanente y variable *Complejo de Cambio dominado por Al, H <sup>+</sup> ,.... *Retención mineralización de la materia orgánica *Destrucción de coloides cristalinos; formación de minerales tipo vermiculita hidroxialumínica
RANGO ALUMINIO/HIERRO	pH menor 3,8	*Ac.Org.carboxilicos de pK menor de 3,8 *Hidrolisis del Fe *Ac.inorgánicos fuertes	FORMACION DE COMPLEJOS ORGANOFERRICOS	*Toxicidad por Al y/o Mn, Cu, Zn,.... *Retención de aniones *Retención de la neoformación de silicatos secundario
RANGO DEL HIERRO	pH menor 3,2	*Ac.Org.carboxilicos de pK menor de 3,2 *Hidrolisis del Fe *Ac.inorgánicos fuertes	Fe <sup>3+</sup> SOLUBILIZACION DEL Fe DESTRUCCION DE LAS ARCILLAS	*Toxicidad por Mn, Fe,.... *Destrucción mineral de primarios y secundarios heredados. *Formación de sales de reacción ácida

TABLA 1.- Rangos de amortiguación de Ulrich (1986), sustancias que actúan como ácidos en cada medio y características que adquiere el suelo.

De este modo, un suelo ácido tendrá, en términos generales, baja Capacidad de Cambio al pH del suelo, Complejo de Cambio desaturado en cationes alcalinos y alcalinotérreos, elevada saturación en Aluminio, baja asimilabilidad de nutrientes esenciales como P, mineralogía dominada por minerales caoliníticos o intergrados hidroxialumínicos y, en ocasiones, aluminio en solución y, por tanto, toxicidad.

Este proceso natural puede ser acelerado por influencias externas, provocadas por el hombre. Entre los procesos inducidos destacan los cambios de la vegetación natural, el drenaje artificial de suelos con hidromorfía, que favorece las reacciones de oxidación aumentando la producción de acidez, los aportes de fertilizantes y enmiendas y los fenómenos de deposición ácida.

En este trabajo se presentan una serie de ejemplos de estas influencias que se han obtenido en Galicia, donde los suelos son esencialmente ácidos, con el fin de destacar cómo los efectos que producen en el suelo se integran dentro del proceso general; sólo cuando la influencia externa es más intensa - por ejemplo, por interacción de dos o más procesos inducidos - se encontrará un efecto "medible" en el suelo.

### El caso de suelos de Galicia

Casi cualquier perfil de suelo natural que haya sido recogido en Galicia podría servir de ejemplo de las características de un suelo ácido. En este caso, se ha seleccionado un suelo "normal", con un perfil bien desarrollado (O-Au<sub>1</sub>-Au<sub>2</sub>-Bw<sub>1</sub>-Bw<sub>2</sub>-C) a partir de un esquisto micacítico intensamente meteorizado, clasificado como Cambisol humico (FAO, 1988) o Typic Haplumbrept (SSS-Soil Taxonomy, 1975) y que sostiene vegetación de robledal-abedular; es un suelo muy profundo y que ha sido apenas modificado por el hombre.

Es fuertemente ácido y deficiente en bases: pH en agua sobre 4,7 en todos los horizontes y entre 4,2 y 4,3 en KCl 0,1M; el contenido en bases cambiables al pH del suelo es siempre inferior a 0,9 cmol(+).kg<sup>-1</sup> y la saturación del Complejo de Cambio en Al superior al 60%. Su CICE es baja, 2,5 cmol(+).kg<sup>-1</sup> en el horizonte Au<sub>1</sub> y próximo a 1,3 cmol(+).kg<sup>-1</sup> en los demás horizontes; la reacción al test del NaF es positiva en todo el perfil, indicando la presencia de compuestos de Al activos, de baja cristalinidad; su textura es franco-arenosa y el contenido en Carbono en horizontes superficiales es de un 2,4 %; las formas de Al que predominan son las ligadas a la materia orgánica en el horizonte superficial, formas que se reducen en profundidad a favor de las inorgánicas de baja cristalinidad.

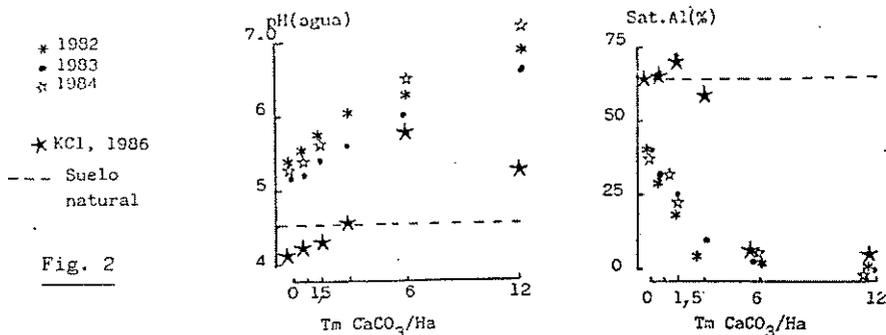
Entre los procesos inducidos, se han estudiado algunos ejemplos de:

- i.- el tipo de vegetación y su interacción con contaminantes atmosféricos de azufre.
- ii.- la reacidificación en el tiempo, tras el encalado y el cultivo.
- iii.- la influencia de la fertilización y encalado junto a los procesos de oxidación inducida.
- iv.- el efecto de la deposición ácida.

i.- Vegetación: los posibles efectos de la vegetación en la acidez del suelo en Galicia fueron estudiados por Calvo (1979) y Calvo y Díaz-Fierros (1981) desde el punto de vista del balance anual de elementos planta-suelo y la actividad microbiana en éste; los resultados señalan que las distintas especies ejercen efectos similares sobre el suelo y que, aunque la pérdida de cationes se produce más rápidamente bajo coníferas que bajo roble, la eficacia de la acidificación depende, en última instancia, del suelo estudiado.

La producción de hojarasca ácida es una de las razones que se propone en ocasiones para justificar las diferencias que se encuentran entre suelos con diferente vegetación (Skeffington, 1983). Al estudiar la liberación de  $H^+$ , cationes alcalinos y alcalinotérreos y acidez de hojarasca de distintas especies de Galicia tras una oxidación química en laboratorio (Urrutia, 1989), se aprecia que existen diferencias entre especies, fundamentalmente según la facilidad de descomposición de los restos vegetales y la proporción de compuestos orgánicos ácidos que liberan, pero que hay otros condicionantes muy importantes en la variabilidad, principalmente el suelo sobre el que ha crecido la especie y el recibir aportes atmosféricos de compuestos de S. Así, muestras de una misma especie, situadas en áreas con grados de deposición distintos, muestran diferencias notorias de comportamiento.

ii.- Reacidificación tras encalado: La utilización del encalado como método de corrección de la acidez del suelo es la práctica más habitual; sin embargo, a corto plazo, provoca un aumento del Al en solución y liberación de Al complejado por la materia orgánica si las dosis son elevadas (Jarvis, 1987); a largo plazo, los suelos encalados tienden a volver al punto inicial, tanto más rápidamente cuanto mayor es la cantidad de cal aportada, ya que el aumento de pH favorece el transcurso de procesos acidificantes como la nitrificación, la liberación de  $CO_2$  por respiración, la mineralización de la materia orgánica, etc (Doerge y Gardner, 1985). Un ejemplo de este mecanismo se presenta en la figura 2, para un suelo de esquistos que fue encalado en 1981 con dosis diversas de cal aplicadas en la siembra de especies pratenses, hasta 1986 en que se levantó el experimento. El pH en agua ha descendido apreciablemente, sobre todo durante los dos últimos años, mientras que el Al de cambio y la saturación del Complejo de Cambio en este elemento experimentan un notable ascenso, igualando los valores del suelo natural antes del aporte (Fdez. Sanjurjo, datos sin publicar).



### iii.- Fertilización, encalado y procesos de oxidación:

Cuando suelos de carácter hidromorfo se someten a cultivo, el arado y volteo cambian las condiciones redox por oxidación. Al favorecerse el drenaje, los procesos de oxidación son acidificantes, acentuándose la extracción de bases del Complejo de Cambio (Van Breemen, 1987). En un experimento similar al señalado anteriormente, se aireó un suelo hidromorfo, desarrollado sobre filitas, de modo que la conjunción de los procesos de oxidación y de los aportes de enmiendas y fertilizantes, condujeron a una recuperación del nivel inicial de acidez en un periodo de tiempo menor que en suelos bien drenados que sostuvieron ensayos similares. En la tabla 2 se muestran algunos de los datos analíticos obtenidos (Urrutia, 1989) que representan dicha recuperación.

	S.natural	Caliza*		Fósforo*	
		1,5x6	3x6	80x6	160x6
Alkc1	3,32	3,84	3,22	2,66	2,93
Alcuc12	16,9	24,4	23,7	20,7	20,5
bt <sup>‡</sup>	1,02	1,11	0,96	1,13	1,04
pHi	4,33	4,46	4,40	4,56	4,39
Sat.Al(%)	70,5	55,2	55,2	37,0	14,0

\*:1,5 ó 3 t CaCO<sub>3</sub>.ha<sup>-1</sup> al año, durante 6 años; \*:80 ó 160 kg P.ha<sup>-1</sup> al año, durante 6 años; ‡: componentes ácidos más fácilmente solubilizables (Urrutia, 1989), cmol(+).kg<sup>-1</sup>.pH<sup>-1</sup>. Al:cmol(+).kg<sup>-1</sup>.

iv.- Deposición ácida: Como ejemplo de los efectos de la deposición ácida en los suelos, se exponen los resultados de un experimento en realización, para estudiar el efecto de la lluvia ácida en suelos diversos de Galicia. Los datos corresponden al suelo tipo descrito anteriormente, al que se ha aportado, durante un mes, "lluvia" de composición equivalente a la que entraría en el suelo durante 10 años (de composición correspondiente a la registrada en los alrededores de As Pontes (La Coruña) en la época de mayor contaminación). El suelo se recogió inalterado en cilindros de PVC y durante el experimento se toman muestras de los lixiviados basales, partiendo de suelo a Capacidad de Campo. Se realizó un blanco con agua destilada (en equilibrio con el CO<sub>2</sub> atmosférico, pH 5,6) en iguales condiciones.

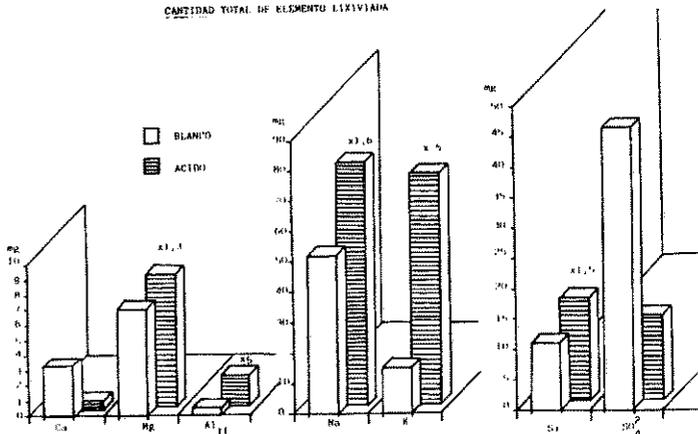
Los primeros resultados que se obtienen muestran que la cantidad de cationes básicos lixiviados con el tratamiento ácido es mayor que en el blanco, especialmente el K, y en el orden K > Na > Mg; el Ca constituye una excepción, pues se lava menor cantidad que en el blanco (fig. 3). Esta lixiviación es muy fuerte en las primeras adiciones de "lluvia", mientras que entre las segunda y tercera semanas la cantidad de elemento lavada se aproxima más a lo liberado con el agua destilada (a excepción del K, que es siempre superior); la cuarta semana de lixiviación supone un nuevo aumento de la cantidad de elementos que se pierden. La alta lixiviación de Potasio, la cinética de liberación de elementos y la mayor cantidad de Silicio que pierde el suelo tratado frente al blanco (fig. 3), permiten deducir que, además de fenómenos de cambio iónico, se está produciendo alteración mineral a consecuencia de los aportes. También se lava más Aluminio que con el agua destilada (fig. 3), principalmente

durante la primera semana de experimentación. Respecto al Azufre el sulfato aportado en la "lluvia" es parcialmente retenido en el suelo por fenómenos de adsorción y, en consecuencia, la cantidad lavada es menor que en el blanco, puesto que se han sustraído las cantidades de elementos que se aportan en el tratamiento (fig.3).

Estos resultados iniciales indican que el suelo responde a aporte ácido con una mayor pérdida de elementos que si el lavado se efectúa con agua destilada, en gran parte por participación de la alteración de minerales primarios. Tras la lixiviación, el suelo ha sufrido un descenso de pH en todos los horizontes (pH de agua tras el lavado con agua destilada de 4.5, 4.8 y 4.9 frente a valores de 3.1, 4.0 y 4.5 tras el tratamiento ácido para muestra correspondientes, respectivamente, a los diez centímetros superiores, resto del horizonte A y horizonte B). Por tanto, este caso la acidificación por pérdida de cationes básicos va acompañada también por un descenso del pH del suelo.

CANTIDAD TOTAL DE ELEMENTO LIXIVIADA

Fig. 3: Cantidad de elemento lavado del suelo (en mg). (xA: número de veces en que se ha multiplicado el lavado).



### BIBLIOGRAFIA

- CALVO,R.M., 1979. Memoria Tesis doctoral. Fac. Biología. Univ Santiago de Compostela.
- CALVO,R.M. y DIAZ-FIERROS,F., 1981. An. Edaf. Agrobiol., XI 411- 425.
- CLARK,D.B. y THOMPSON,R.E., 1989. Am. Biol. Teacher, 51: 11-13.
- DOERGE,T.A. y GARDNER,E.H., 1985. Soil Sci. Soc. Am. J., 49 680-685.
- FAO-UNESCO, 1988. Roma.
- JARVIS,S.C., 1987. J. Soil Sci., 38: 443-451.
- LOZET,J. y MATHIEU,C., 1986. Technique et Documentation Pub Lavoisier. Paris. 269pp.
- SKEFFINGTON,R.A., 1983. En "Effects of accumulation of air pollutants in forest ecosystems" Ulrich,B.; Kamprath,J.(eds).pp 219-231. Reidel Pub. Co.
- SOIL SURVEY STAFF, 1975. Agric. Handbook, 346 US.Gob. Print Off. Washington, D.C.
- ULRICH,B., 1986. Z. Pflanzenernaehr.Bodenk., 149: 702-717.
- URRUTIA,M., 1989. Memoria Tesis Doctoral. Fac. Biología. Univ Santiago de Compostela.
- VAN BREEMEN,N., 1987. J. Agric. Sci., 35: 271-279.
- VAN BREEMEN,N., MULDER,J. y DRISCOLL,C.T., 1983. Plant and Soil 75: 283-308.

## SUELOS DE LA CAMPIÑA DE LA PROVINCIA DE SEVILLA

A.D. COLLADO (1); R. RIVA (1); G. SERRUTO (2); J. VILLAMIL (2); D. ALVARADO (2); J.L. MUDARRA (3); A. ROSALES (3).

### I. INTRODUCCIÓN

La zona sobre la que se ha realizado el presente estudio se situa en el centro de la provincia de Sevilla, en plena comarca de "La Campiña". Abarca una extensión de cerca de 400.000 Ha, quedando encuadrada entre los ríos Corbones y Genil y limitada, por su parte norte, por el Guadalquivir y, por su parte sur, por formaciones triásicas que dan paso a la Serranía Subbética.

Aquí se incluyen los municipios de mayor importancia agrícola de la provincia, como Carmona, Ecija, Marchena y Osuna, entre otros.

El clima en general, de acuerdo con los respectivos índices calculados y con la concentración térmica en verano, se puede considerar como Mesotérmico, Seco, Subhúmedo, con moderado exceso de humedad en invierno y moderada concentración de la eficacia térmica durante el verano. El suelo presenta un estado de humedad constante durante cuatro meses (Diciembre-Marzo) y presenta una nula reserva de agua durante cinco meses (Junio-Octubre). La temperatura media anual del suelo es del orden de 17°C, con una diferencia entre las medias de verano e invierno superior a 5°C, todo lo cual es típico de climas mediterráneos, con un régimen de humedad Xérico y un régimen de temperatura Térmico.

El área, que corresponde al Valle Medio del Guadalquivir, está constituida por formaciones de materiales neógenos autóctonos y alóctonos (Olistrostroma), procedentes, estos últimos, de las Sierras Subbéticas. Gran parte de la región se encuentra cubierta por sedimentos cuaternarios y pliocuaternarios, con lo que se configura un paisaje de relieve suave en donde se pueden distinguir las unidades geomorfológicas siguientes: Lomas de erosión, Derrubios de laderas, Penillanura de la Cuenca del Guadalquivir, Terrazas fluviales y Valles aluviales.

El resto del territorio, en su transición a las Sierras Subbéticas, presenta un relieve predominantemente ondulado, con formaciones terciarias de colinas, cerros y montes, con pendientes progresivamente mayores hacia el Sur y relieve ya quebrado, con manifiesta erosión en cárcavas sobre materiales triásicos que no se incluyen en este estudio.

Dentro del Terciario se encuentran terrenos pertenecientes a los períodos Eoceno, Oligoceno y Mioceno. El Eoceno muestra materiales calizos, como margas, calizas arenosas y areniscas. El Oligoceno corresponde a lo que se conoce con el nombre de "Albarizas" o "Moronitas" que están constituidas por margas y margocalizas blancas que caracterizan a gran parte de los terrenos ondulados dedicados a olivar. Dentro del Mioceno destacan principalmente las margas azules que afloran en las áreas de erosión de las terrazas cuaternarias. Sobre estas margas se detecta, a veces, una formación de arenas, areniscas, limo y margas estratificadas.

Existe un Pliocuaternalio que ocupa grandes extensiones planas de depósitos fluviales de régimen torrencial, formado por conglomerados gravas, arenas, areniscas, limos, arcillas y costras calcáreas.

Finalmente se distingue un Cuaternario que corresponde a las terrazas de los ríos Guadalquivir, Genil y Corbones en sus distintos niveles hasta el aluvial reciente de los ríos citados y de sus numerosos afluentes.

## II. RESULTADOS Y DISCUSION

Se han identificado en la zona dieciocho unidades de suelos agrupadas dentro de la categoría de subgrupos del Sistema de Clasificación "Soil Taxonomy" que se integran, a su vez, en nueve Grandes Grupos de cinco Ordenes diferentes.

Dentro de dichos Subgrupos se han diferenciado, además, algunas grandes familias litológicas, especialmente en la cartografía realizada. Sus características se describen a continuación.

### Xerofluents típicos (Xft).

Suelos desarrollados a partir de materiales de aportes fluviales recientes, que ocupan las áreas próximas a los cursos de los principales ríos y arroyos de la zona.

Son profundos, de drenaje bueno, de textura variable dentro del mismo suelo y a lo largo del recorrido del río, dependiendo principalmente del material y de la velocidad de sedimentación de los aportes fluviales.

Presentan un perfil de tipo A, AC, C. El horizonte superficial A o Ap es de color pardo claro, de textura franco-arcillo-limosa y estructura laminar fina y de bloques poliédricos subangulares poco desarrollados. Sigue un horizonte transicional AC de color pardo gris oscuro, textura franca y estructura laminar algo más gruesa con tendencia a poliédrica subangular, pasando gradualmente al horizonte u horizontes C que, aunque casi con igual color, muestran textura variable y contenidos en carbono orgánico suavemente decrecientes, pero nunca inferiores al 1 %, en el primer metro de profundidad. Todo el suelo es moderadamente calcáreo.

### Xerofluents vérticos (XFv).

Suelos desarrollados también a partir de aportes fluviales, estrechamente relacionados con formaciones de margas. Se localizan sobre sedimentos finos próximos a los cursos de muchos arroyos de la zona.

Son profundos, moderadamente drenados, de textura fina, con ligero agrietamiento vertical hasta casi un metro de profundidad.

El perfil es de tipo Ap, AC,C. El horizonte Ap, presenta un color pardo oscuro, textura arcillosa o arcillo-limosa y estructura grumosa a poliédrica subangular poco desarrollada. Al horizonte C, algo más claro, arcilloso y masivo, que aparece a unos 50 cm, se pasa por otro AC de transición algo más estructurado.

Todo el perfil es moderadamente calcáreo.

### Xerofluvents ácuicos (XFa).

Suelos que presentan a menos de un metro de profundidad ligeras señales de hidromorfía, puestas de manifiesto por la aparición de pequeñas y difusas manchas de color pardo-rojizo y pardo-amarillento, así como, en algunas ocasiones, nódulos oscuros ferruginosos.

Son suelos de pH neutro o ligeramente alcalino, que no poseen carbonato libre en forma apreciable, localizándose en las vegas de algunos arroyos y ríos de la zona asociados con Xerofluvents vérticos y típicos y otros suelos más hidromorfos.

La hidromorfía que presentan en profundidad no impide que sean buenos suelos para cultivos hortícolas, pero por su situación muy próxima al cauce fluvial, pueden presentar problemas de erosión.

### Xerorthents calcáreos (XTk).

Suelos desarrollados a partir de calizas y areniscas del Terciario. Se ubican en las partes superiores de las colinas, ofreciendo un relieve favorable a la erosión que mantiene al suelo con poco espesor antes de alcanzar el material original.

Son poco o moderadamente profundos, de drenaje bueno, de textura gruesa en los suelos desarrollados sobre areniscas a moderadamente fina en los demás, pudiendo presentar horizontes cálcicos.

El perfil es de tipo AP, AC, C o Ck. El horizonte Ap es de color pardo grisáceo claro, con estructura granular a migajosa. El horizonte C, que aparece a más de 50 cm, se alcanza a través de otro de transición AC, con características intermedias. Dicho horizonte C es más claro, poco o nada estructurado, con muy bajo contenido en materia orgánica y de fuerte reacción caliza, con presencia, a veces, de abundantes concreciones o vetas blancas.

### Xerochrepts calcixerólicos (XCk).

Suelos desarrollados principalmente a partir de materiales calizos del Terciario. Se encuentran situados en las lomas de colinas, en estrecha relación con Xerorthents típicos - cálcicos, así como también en terrazas medias del río Corbones.

Son moderadamente profundos, de drenaje bueno a moderado, con un horizonte B cámbico bajo un epipedón ócrico y un horizonte cálcico en profundidad.

El perfil es de tipo A, B, Ck. El horizonte A ó Ap presenta un color pardo claro, textura media a fina y estructura grumosa, con poca materia orgánica. Sigue el horizonte B de color algo más vivo y textura ligeramente más fina. A veces es solo un horizonte transicional BC debido a la erosión. Finalmente el horizonte C, de color más claro, presenta una fuerte reacción caliza con abundantes concreciones.

#### Xerochrepts vérticos (XCv).

Suelos desarrollados sobre margas miocenas del Tortonense que se encuentran en contacto con las formaciones calcáreas de areniscas calizas, ocupando posiciones elevadas dentro del área de margas o de comienzo de pendientes bastante pronunciadas, por lo que el carácter vértico, que es heredado del material original, no se manifiesta claramente y están asociados a los Chromoxererts énticos.

El perfil es de tipo A, BC, C, con contenido de carbonato cálcico ligeramente menor que los anteriores suelos, con estructura en bloques angulares bien definidos y agrietamiento apreciable en seco que no profundiza mas de 50 cm.

#### Calcixeroll vértico (KXv)

Suelos desarrollados sobre materiales conglomerados calcáreos del Plio-Cuaternario. Se encuentran situados en ligeras depresiones en terrazas altas.

Presentan un perfil del tipo A, AC, Ck, un epipedón mólico, un horizonte cálcico cuyo límite superior se encuentra dentro de 1,5 m de la superficie y grietas de por lo menos 1 cm de ancho, desde la profundidad de 50 cm hasta la superficie o hasta la base de la capa arable.

Son moderadamente profundos, de drenaje moderado y de textura moderadamente fina. El horizonte Ap de color gris muy oscuro a oscuro tiene textura arcillo-limosa, estructura migajosa a poliédrica fina, seguido del horizonte Ck que se alcanza a través de otro

de transición AC con características intermedias. Dicho horizonte Ck es de color mas claro, masivo, plástico y fuertemente calcáreo con nódulos calizos.

#### Pelloxererts típicos (PXt).

Suelos desarrollados sobre sedimentos margosos y calcáreos. Se encuentran situados en áreas depresionadas, con relieve plano, siendo muy frecuentes en la zona.

El perfil, de tipo A, AB, B, BC, C, presenta subhorizontes hasta la profundidad de un metro con un "chroma" en seco y húmedo, menor de 1,5 y un "value" menor de 3,5 y 5,5 en seco y húmedo respectivamente y grietas de por lo menos 1 cm de ancho, desde la superficie hasta una profundidad de 50 cm, apreciándose evidentes "slikensides" en las caras de los agregados.

Son profundos, de drenaje moderado a deficiente, de textura fina y de colores grises muy oscuros a lo largo del perfil.

El horizonte Ap es de textura arcillosa y estructura en bloques poliédricos subangulares, con presencia de grietas de entre 0,5 a 1 cm de ancho. Le sigue un horizonte B que se alcanza a través de otro de transición AB, este horizonte B es de textura arcillosa estructura poliédrica gruesa a prismática media, ligeramente desarrollada con fractura concoidea, de consistencia muy firme, muy duro plástico y adhesivo y compacto.

El horizonte transicional BC presenta vetas del horizonte anterior y nódulos calcáreos, lo mismo que el C.

#### Pelloxererts énticos (PXe).

Suelos desarrollados sobre materiales margosos del Mioceno.

El perfil es del tipo Ap, B, BC, Ck, presentando, al igual que los suelos anteriores suelos, el típico agrietamiento en estado seco, y colores menos oscuros, con un "value" mayor que 3,5 en húmedo y que 5,5 en seco.

Son profundos, de drenaje moderado a deficiente, de textura fina. El horizonte A o Ap es de color gris a gris oscuro, textura arcillosa, estructura migajosa a poliédrica subangular, duro e

seco a friable en húmedo, calizo, además presenta agrietamiento poligonal en superficie. El horizonte B que tiene un espesor de 25 cm es de color gris muy oscuro, arcilloso, masivo, plástico y adhesivo, compacto y calizo. Sigue el horizonte BC que es pardo grisáceo oscuro con vetas mas oscuras, arcilloso, masivo, plástico y adhesivo.

El horizonte Ck es de color pardo grisáceo claro, arcillo-limoso, masivo, plástico y muy calizo con nódulos calizos.

#### Pelloxererts crómicos (PXc).

Estos suelos son como los Pelloxererts típicos, excepto que tienen entre profundidades menores de un metro, un horizonte u horizontes que tienen un "chroma" mayor de 1,5 en húmedo y no tienen diferencias notables en los moteados producidos por las segregaciones del hierro y manganeso.

Se encuentran asociados con los Pelloxererts énticos.

#### Chromoxererts típicos (CXt).

Suelos desarrollados sobre materiales margosos del Mioceno.

El perfil de tipo Ap, B, BC, Ck, presenta, como en los casos precedentes, un alto contenido de arcilla expandible, con típicas grietas de retracción, acentuadas en períodos secos y con "chroma" tanto en seco como en húmedo mayor o igual a 1,5.

Son profundos, de textura fina, colores pardo grisáceos a pardo grisáceo oscuro en todo el perfil. El horizonte Ap de 20 cm de espesor promedio es de textura franco-arcillosa a limo-arcillosa, con estructura subangular fina y frágil, poroso y no calizo; le sigue un horizonte B masivo, plástico, no calizo y con vetas de arena, con textura arcillo-arenosa.

Luego sigue un horizonte BC con textura arcillo-arenosa y con vetas del horizonte anterior. Por último el horizonte Ck que es arcillo-limoso con nódulos pequeños calizos blancos.

#### Chromoxererts énticos (CXe).

Suelos desarrollados también sobre materiales calizos del Mioceno.

Son menos profundos, presentando colores mas claros que los anteriores.

El perfil es de tipo Ap, AC, ACk, C. El horizonte Ap es de color pardo grisáceo oscuro en seco y pardo grisáceo en húmedo, de textura arcillosa, con estructura migajosa, gruesa, moderadamente desarrollada a poliédrica subangular, firme en húmedo, duro en seco. Le sigue un horizonte AC de igual color y textura, con textura masiva pero con algunas grietas y se observan patentes "slikensides". Luego continua un horizonte ACk con igual color, textura, estructura, pero que presenta algunos nódulos calcáreos blanco amarillentos. Por último se presenta un horizonte C pardo grisáceo claro con algunas vetas finas, de igual textura, estructura que el horizonte anterior.

#### Rhodoxeralfs cálcicos (RXk).

Suelos desarrollados a partir de materiales de areniscas y calizas del Plio-cuaternario.

El perfil de tipo A, Bt, BC, Ck, presenta un epipedón ócrico, un horizonte argílico y un cálcico, como horizontes de diagnóstico.

El horizonte argílico posee una alta saturación de bases y un color rojo intenso, con un "hue" mayor de 5YR y un "value" en húmedo menor de 4, que no aumenta en mas de una unidad al secarse. Dentro de los 100 cm superiores aparecen acumulaciones de carbonato de calcio secundario en forma de nódulos y a veces de costras calizas blancas.

Son moderadamente profundos y de drenaje moderado. El horizonte A o Ap, es de color pardo rojizo, de textura franco-arcillos-limosa y estructura en bloques poliédricos subangulares. Sigue un horizonte Bt con un "hue" 2,5YR y "value" 4, con estructura poliédrica bien desarrollada, firme y duro, poco o nada calizo. El horizonte BCk es fuertemente calcáreo con abundantes nódulos de carbonato de calcio, blandos y blancos.

#### Haploxeralfs típicos (HXt).

Suelos desarrollados a partir de materiales de arena, arenisca, limos y margas estratificadas del Andaluciense.

Presentan un horizonte  $A_1$  mayor de 10 cm, con un "value" en húmedo de 3,5 o más; menos de 0,7 de carbón orgánico. El contacto lítico se encuentra a una profundidad mayor de 50 cm.

El perfil es de tipo A,  $Bt_1$ ,  $Bt_2$ , BC. El horizonte A o  $A_p$  con un espesor de 20 cm presenta un color pardo, de textura franco arenosa, estructura migajosa y fina, de consistencia muy friable y suelto. Luego continúa el horizonte  $Bt_1$  que presenta un color rojo amarillento, de textura areno-arcillosa, con estructura poliédrica gruesa fuertemente desarrollada, de consistencia muy dura y algo friable, así como un horizonte  $Bt_2$  con igual color, algo abigarrado, de textura arcillo-arenosa, de estructura poliédrica subangular y menos desarrollada, de consistencia duro, firme y algo plástico. Por último un horizonte BC, con el mismo color, de textura arenosa, sin estructura y friable. No da reacción caliza aún a 1,80 m y presenta ligera hidromorfía.

#### Haploxeralfs cálcicos (HXk).

Suelos desarrollados sobre areniscas y calizas del Plio-cuaternario.

Presentan un perfil del tipo A, Bt, BC, Ck, con horizontes diagnósticos similares a los de los Rhodoxeralfs cálcicos, evidenciándose además una cierta decoloración del suelo hacia pardo amarillento a pardo rojizo en el horizonte argílico.

Son moderadamente profundos a profundos con drenaje moderado. El horizonte A o  $A_p$  es de color pardo oscuro, textura franco-arcillo-limosa y estructura grumosa a migajosa. Sigue un horizonte Bt de color pardo rojizo bien estructurado y sin reacción caliza.

Los horizontes BC y Ck, son de fuerte reacción caliza con abundantes concreciones calizas y formaciones de caliza secundaria aisladas.

#### Haploxeralfs ácuicos.

Suelos desarrollados sobre conglomerados, matriz arenosa, limos y evaporitas.

Su origen se debe a condiciones de drenaje pobre, debido a su topografía y a la presencia del horizonte argílico poco permeable.

En estas circunstancias se favorece, por algún tiempo, la retención de agua a menos de un metro de profundidad, produciéndose un ambiente

reductor intermitente que da lugar a la aparición de moteados o manchas de colores pardo rojizos a pardo amarillento, junto a pequeños nódulos o manchas oscuras ferruginosas aisladas (horizonte Btg de pseudogley).

El perfil de tipo A, Btg, C, muestra un marcado contraste de horizontes pasando de color pardo oscuro y textura moderadamente gruesa, al color abigarrado de textura fina de los horizontes Bt.

Todo el perfil carece de carbonato de calcio. El horizonte C, sin embargo, presenta nódulos blancos frecuentes de carbonato de calcio, en general, a mas de 1,25 metros de profundidad.

#### Haploxeralfs vérticos (HXv)

Suelos desarrollados sobre materiales de calizas y areniscas del Plio-Cuaternario. Se encuentran situados en terrazas altas.

Presentan un perfil de tipo Ap, 2Bt, Ck, con horizontes diagnósticos similares a los anteriores suelos, evidenciándose además grietas de por lo menos 1 cm de ancho hasta la superficie o hasta la base de la capa arable.

Son moderadamente profundos, con drenaje moderado. El horizonte A o Ap es de color gris muy oscuro a oscuro, textura franco-arcillo-arenosa, estructura poco desarrollada, seguido del horizonte 2Bt de color gris, textura arcillosa, con grietas verticales y sin reacción caliza apreciable. El horizonte Ck es de un color un poco más claro, arcillo-arenoso, masivo, con formaciones de caliza secundaria aisladas y duras.

#### Ochraqualfs mólicos (OAm)

Suelos desarrollados sobre arcillas, limos y evaporitas de fondos lagunares del Cuaternario. Se encuentran situados también en las terrazas altas, ocupando situaciones deprimidas de difícil drenaje que constituyen lagunas actuales o desecadas.

El perfil es de tipo A, Btg, Cgk, que presenta un epipedón que cumple con todos los requisitos para ser epipedón mólico, excepto por el espesor, en el horizonte superficial, produciéndose además un ambiente reductor mucho más acentuado que los anteriores desde cerca o muy cerca de la superficie por ofrecer un drenaje muy pobre.

El horizonte A presenta un color pardo oscuro, textura arenosa a arenosa franca, poco estructurado, seguido del horizonte Btg de color gris con abundantes manchas de color ocre, de óxidos, que carece de carbonato de calcio. El horizonte Cgk es de fuerte reacción caliza, con frecuentes vetas blancas y concreciones calizas.

---

- (1) Alumno del XXVI Curso Internacional de Edafología (Sevilla 1.989)
- (2) Alumno del XXVII Curso Internacional de Edafología (Sevilla 1.990)
- (3) Del Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla.

# LOS SUELOS DEL MUNICIPIO DE BADAJOZ. BREVE DESCRIPCION CARTOGRAFICA.

A. García Navarro y L. Fernández Pozo.

Cátedra de Edafología y Química Agrícola.UNEX.

## INTRODUCCION

La localidad de Badajoz está situada en el extremo occidental de la provincia, su término municipal es de los más extensos de España, con una superficie aproximada de unas 150.000 Has. En él se pueden distinguir tres áreas ampliamente diferenciadas. Al N y S donde se encuentran los materiales más antiguos, donde el relieve es más acusado, en el que la vegetación es la original que tuvo que poseer las totalidad de nuestra zona de estudio o al menos es la que menor grado de destrucción ha soportado al transformarse en extensas dehesas que, por otra parte, es la típica utilización de las tierras en la región extremeña, y, en lo referente a climatología, donde se producen las máximas precipitaciones anuales, las temperaturas medias son las inferiores y al igual que con estos dos términos así sucede con los excesos y déficits hídricos.

En la zona centro del término municipal de Badajoz, este está constituido por materiales de edad terciaria y cuaternaria, típicos sedimentos de los que destacan arcosas, rañas, arcillas, arenas y gravas, estos últimos por la acción del río Guadiana principalmente. Como consecuencia el relieve es prácticamente inexistente, localizándose algunas áreas de cierta pendiente que han sido originadas por la acción erosiva de la red fluvial al encajarse a principios del cuaternario. Los rasgos climáticos de esta parte del municipio de Badajoz son los contrarios a lo enunciados antes, zona de mínima pluviosidad, máximas temperatur-

ras medias, mayores déficits y menores excesos hídricos. La vegetación original es inexistente, estando sustituida por cultivos herbáceos y leñosos tanto de secano como de regadío, utilizándose en el caso de estos los márgenes de los ríos Guadiana, Gévora y Olivenza, áreas propiciadas por el Plan de puesta en regadío de las zonas adyacentes a estos ríos.

Teniendo en cuenta estas consideraciones, cabe suponer que los suelos más desarrollados los encontraremos en los tercios N y S del término municipal, y los de menor desarrollo en el tercio central, si bien, también es cierto que en aquellas zonas donde el relieve es más acusado y se producen unos regímenes de precipitación más elevados, la acción de la erosión va a estar más acentuada, y provocando por este motivo que los suelos a esas zonas asociadas presente unas condiciones de desarrollo limitadas. Por contrapartida, en el tercio central del municipio los procesos de destrucción del suelo pudiera, incluso, estén más marcados, no por la acción erosiva de las precipitaciones, sino más bien por otros factores de una mayor relevancia si cabe, como son por una parte la acción erosiva de los ríos, sobre todo a principios de nuestra era geológica cuando han ocupado sus demarcaciones actuales y que con el paso del tiempo han ido formando terrazas y, por otra parte, la acción antropozoógena del hombre al provocar una deforestación que hoy en día continúa, siendo el objetivo de ésta el de proporcionar una mayor superficie para cultivos, principalmente de secano y que con el paso del tiempo van transformándose en regadíos.

Hemos realizado el mapa de suelos del municipio de Badajoz a escala 1:100.000, del cual vamos a reflejar de una manera muy breve los principales tipos de suelos existentes.

## DISCUSION

Hemos definido 26 unidades edáficas en el municipio de Badajoz, sobre las que se desarrollan suelos que pertenecen a 5 órdenes de la Soil Taxonomy: Entisol, Inceptisol, Vertisol, Mollisol y Alfisol.

En la mayoría de las unidades se describen inceptisoles, pertenecientes todos ellos al Gran Grupo Xerochrept, bien como

suelo dominante o como inclusión dentro de otros Grandes Grupos.

Dentro de los Xerochrept aparecen miembros de los subgrupos típico, lítico, distri-lítico, districo y fluventico. Los primeros se encuentran ampliamente representados al O del término y en las proximidades de los ríos Gévora y Guadiana. Los subgrupos lítico, distri-lítico y districo se localizan preferentemente sobre los materiales más antiguos existentes en el término, pizarras, cuarcitas, calizas y rocas ígneas. El subgrupo fluventico está ubicado en áreas próximas a los ríos citados, encontrándose en zonas muy reducidas.

Los inceptisoles se encuentran muy ligados a los alfisoles. Esto es debido al intenso proceso erosivo que tuvo lugar a comienzos del cuaternario provocado por el encajamiento definitivo de los ríos en sus actuales delimitaciones. Así los suelos originales, presumiblemente alfisoles desarrollados sobre los materiales terciarios existentes, sufrieron dicho evento desarrollándose nuevos suelos que en la actualidad alcanzan el grado de inceptisol. En las zonas de mayor altitud, los suelos allí instaurados no llegaron a sufrir el efecto erosivo de esa forma tan intensa, hecho este que determina su actual mantenimiento.

Los alfisoles descritos en el término municipal pertenecen a los Grandes Grupos Haploxeralf, Rhodoxeralf y Palexeralf. Los primeros son los más abundantes, localizándose sobre materiales de edad terciaria y sobre pizarras, estos últimos en el N del municipio. Los ubicados sobre materiales terciarios suelen proceder de la degradación de suelos preexistentes.

Los suelos que sufrieron un menor ataque erosivo son Rhodoxeralf y Palexeralf, situados ambos en las áreas de mayor altitud dentro del dominio de los materiales terciarios.

Sobre estos materiales, de muy diversa composición, areniscas, margas, caleño, rañas y arcillas, se desarrollan, además de inceptisoles y alfisoles, mollisol y vertisol.

Ambos ocupan espacios muy reducidos y se desarrollan a partir de materias calcáreas y arcillas. La vegetación que soportan son pastos y cultivos de secano y regadío principalmente. Los mollisoles están representados por los Grandes Grupos Haploxeroll y Calcixeroll. El primero se localiza en la zona central del municipio y los calcixeroles en el extremo E.

El orden vertisol se localiza preferentemente hacia el NE del término municipal. Están dedicados a cultivos de secano y leñosos principalmente, están representados por el Gran Grupo Chromoxerert.

Los entisoles están poco representados en el municipio de Badajoz, alcanzan a formar unidad independiente en el S de él. Suelen aparecer asociados a inceptisoles y esto ocurre al N del término, sobre cuarcitas principalmente y en las márgenes de los ríos. Se han descrito dos Grandes Grupos, Xerorthent y Xerofluvent, este último con una representación más bien testimonial. Ello es así puesto que los principales ríos que surcan el término municipal de Badajoz no forman vegas más que en las inmediaciones de ellos, debido a que se encuentran los cauces muy encajados a su paso por el término municipal.

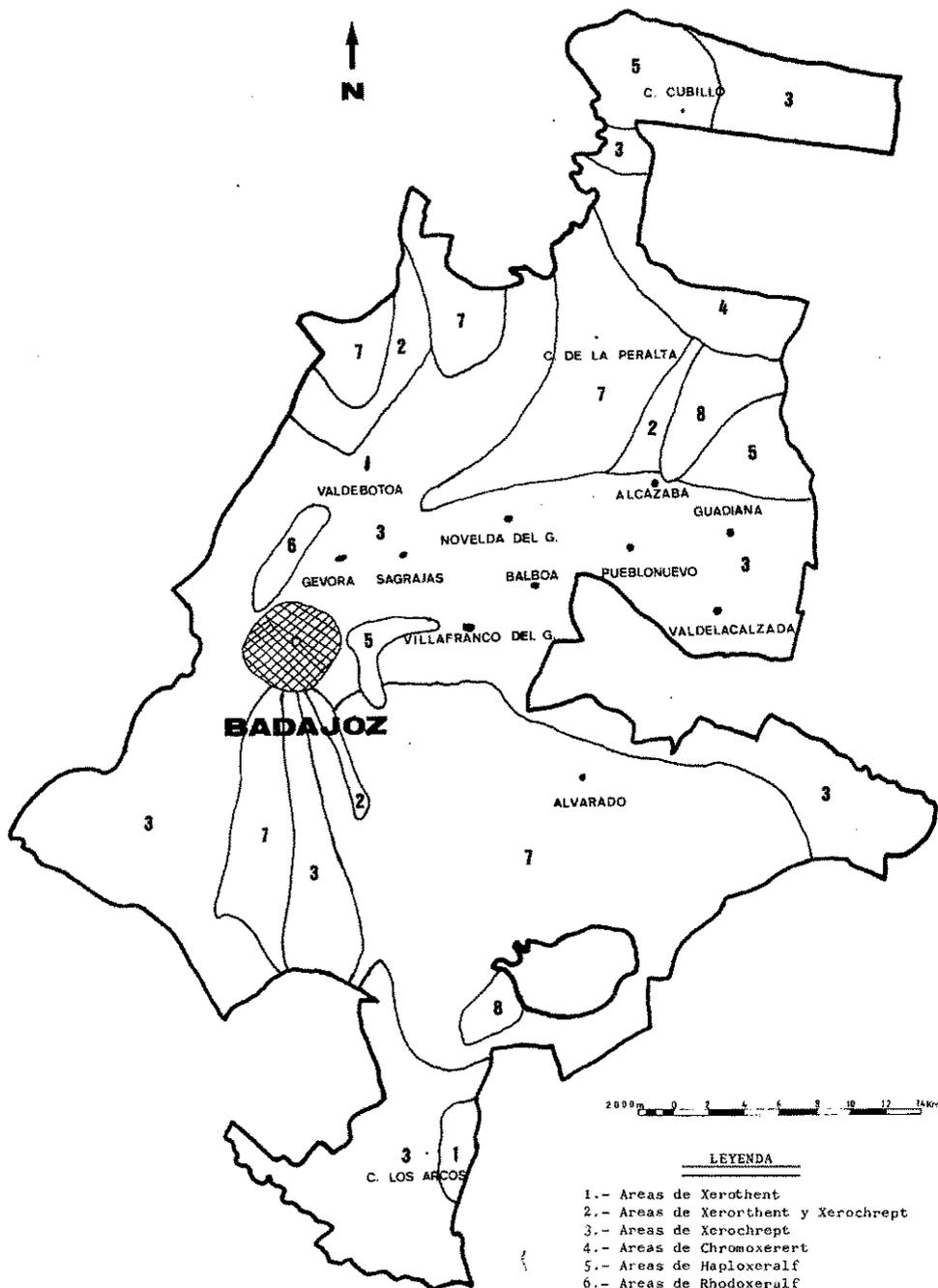
## BIBLIOGRAFIA

BALTANAS, E. y FERNANDEZ POZO, L. (1988). Efecto de los factores formadores sobre las características de los suelos desarrollados sobre sedimentos terciarios en Badajoz. II Cong. Nac. de la Ciencia del Suelo. Sevilla.

FERNANDEZ POZO, L. (1987). Suelos desarrollados sobre materiales terciarios en el municipio de Badajoz. Tesis de Licenciatura. UNEX.

FERNANDEZ POZO, L. (1990). Cartografía y Capacidad de uso de los suelos del municipio de Badajoz. Tesis Doctoral. UNEX.

GARCIA NAVARRO A. y FERNANDEZ POZO, L. (1988). Suelos sobre sedimentos terciarios afectados por la terraza alta del Guadiana en Badajoz. (España). An. Edaf. y Agrobiol. 47. 5-6.



**MUNICIPIO DE BADAJOZ  
MAPA DE SUELOS**

# ASPECTOS GEOMORFOLOGICOS EN EL DIAGNOSTICO EDAFOLOGICO DE LOS PLANOSOLES DE "EL CAMPO ARAÑUELO" (CACERES-TOLEDO) Y SU POSIBLE APROVECHAMIENTO CON NUEVOS REGADIOS

H. Laya, D. Laya, S. Gimenez y C. Roquero

## INTRODUCCION

### Antecedentes

Al caracter de planosoles tradicionalmente atribuido a los suelos de esta comarca, con dificultades de drenaje por limitantes permanentes, se han sumado errores de explotación bajo riego en la zona de Rosarito. Ello ha contribuido a una descalificación genérica de la cuenca media del Tajo, a lo largo de casi 100 km entre Talavera de la Reina y Torrejón El Rubio. La extensión en sus límites más amplios puede alcanzar las 180.000 ha, según los estudios generales efectuados por Storie (1963).

Son varios y de distinta indole, los estudios edafológicos realizados de 1936 en adelante. Si bien algunos de ellos brindan las pautas fundamentales para caracterizar a los suelos de esta comarca, en general, carecen de mayores precisiones geomorfológicas. Asimismo, deben calificarse en la categoría de "intensidad baja" (FAO, 1979). Entre otros, se destacan los de Storie (1963), TECNITEC (1971) y el más específico de Gómez Miguel et al (1984).

Desde la anulación legal en 1964, de la declaración de interés nacional y utilidad pública de los riegos del sistema Tajo-Tietar, han sido notables los progresos en las técnicas de aplicación del agua de riego y de los sistemas de drenaje, así como la variación de los criterios socioeconómicos en España. De igual manera, en cuanto al conocimiento de los suelos, con novedades del mayor interés, tal como se expondrá en esta contribución.

### Objetivo y localización

La finalidad fundamental ha sido cubrir la carencia de estudios edafológicos de "intensidad media" (FAO, 1979), en la parte central de la comarca natural de "El Campo Arañuelo". Por tanto, cuando se trate de tomar decisiones en el futuro acerca de las diversas posibilidades de transformación en riego, se podrán aplicar criterios comparativos, en relación con estudios previos existentes en el resto de la comarca.

La ubicación general del área de estudio, con una superficie total del orden de 32.000 ha, queda delimitada al norte por las localidades de Tietar del Caudillo y Ventas de San Julián y al sur por la carretera nacional V; al este por

la carretera que une a Calzada de Oropesa con Ventas de Santa Julián y al oeste por el arroyo de Santa María.

#### Descripción breve del medio físico

Entre los elementos del clima, la temperatura media es de 16°C; la precipitación media y la ETP son del orden de 900 mm. Lo más destacado es que el balance de humedad presenta excesos marcados invernales y un alto déficit estival. Según la Soil Taxonomy (1975), el régimen de humedad es Xérico y el de temperatura Térmico.

La litología de la comarca es bastante monótona y constituida por arcosas típicas, que ocasionalmente presentan interestratificaciones de capas delgadas arcillosas. Es de destacar en el fondo de los valles, la depositación de mantos fluviales arenosos, procedentes de la erosión de los materiales arcósicos, así como algunos manchones de sedimentos eólicos, también arenosos.

El relieve, en general, conforma una amplia penillanura con predominio de formas suaves. En particular, sus variaciones llegan a ser relevantes, debido a la densidad de la disección generada por diversas vías fluviales que, con orientaciones subparalelas ESE-ONO, convergen en el arroyo Santa María, colector de la media docena de cursos tributarios que recorren la mayor parte del área de estudio. En pocos casos la cercanía entre estos cauces, ha generado un relieve ondulado algo más inestable. Los fondos de los valles fluviales son bastante amplios y de relieve plano.

La vegetación, está representada por el "bosque seco de Quercus ilex (encinar), siguiendo los criterios expuestos por Holdridge (1961).

Lo expuesto brevemente hasta aquí, coincide con los factores formadores, tradicionalmente utilizados para explicar la formación y evolución de los suelos. Cabe completarlo con el tiempo, el cual está íntimamente ligado a la litología y el relieve, ya que una parte importante de las geoformas, el sentido de los suelos "intrazonales" han sido bastante estables durante amplios lapsos, dando como consecuencia evolución clásica de perfiles planosólicos, con frecuentes cambios texturales contrastantes y abruptos entre los horizontes A y/o E, respecto de los subyacentes Bt, Btg, Btp Btgpl, etc.

#### METODOLOGIAS

Se han empleado las habituales en este tipo de estudio siguiendo a FAO (1977, 1979), Soil Taxonomy (USDA, 1975), S. Bureau of Irrigation (1953, 1975) y el SCS-USDA(1972) para los métodos analíticos de laboratorio.

En total se describieron 68 perfiles de suelos en calicatas y otros tantos de sondeos, lo que hace una densidad de 1/200 ha; los datos analíticos provienen de 140 muestras de 25 perfiles seleccionados.

## RESULTADOS Y DISCUSION

Si bien todos los factores formadores antes explicados brevemente, desempeñan un papel importante a la hora de caracterizar los suelos de la comarca, de forma simplificada se pueden considerar como constantes el clima y la vegetación. Del mismo modo, se consideran variables la litología y el relieve, íntimamente asociados al tiempo. Los tres últimos, agrupados bajo la denominación genérica de geomorfología, han condicionado las variaciones principales de los procesos formadores de los suelos y por ende sirven de diagnóstico para la separación armónica de las diferentes unidades cartografiadas.

El esquema de la Tabla 1, se considera brindó satisfacción suficiente a la escala requerida, al contener conjuntos de suelos afines y más o menos contrastantes entre las geoformas diferenciadas.

Tabla 1.- SINTESIS DE LAS GEOFORMAS PRINCIPALES

- 
- L - ANTIGUAS Y ESTABLES EN ROCAS ARCOSICAS
    - L1 - Relativamente altas, moderada a fuertemente onduladas
    - L2 - Altas o intermedias, suavemente onduladas
    - L3 - En relieve de planos extensos, relativamente bajas
  - M - MODERNAS DE SEDIMENTOS DERIVADOS DE ARCOSAS
    - M1 - Planos bajos localizados con sedimentos aluviales
    - M2 - Planos bajos extensos con sedimentos aluviales
    - M3 - Lomas someras con depósitos eólicos sobre aluviales
  - N - REMANENTES DE TERRAZAS ALTAS DEL TIETAR CON GRAVA
    - N1 - Relieve moderada a fuertemente ondulado
    - N2 - Relieve suavemente ondulado

---

### Notas:

- Subdivisiones de L1 y L2, contemplan si están asociadas a vaguadas sin sedimento aluvial o bien de fondo plano semicometado por aluviones arenosos.
- En L3, se separan las de relieve relativamente alto y bastante uniforme, de otras de relieve más bajo y complejo.
- Las de M1 y M2, se subdividen según tengan frecuentes disecciones e irregularidades menores, respecto de otras sin ese tipo de problemas.
- Las geoformas de N y otras no explicitadas aquí, tienen una distribución muy restringida.
- De momento, no se agregan las geoformas de pendientes asociadas con L1 y L2.

La posible dinámica cronológica-secuencial que sustent el esquema geomorfológico de la Tabla 1, se puede simplificar del modo siguiente:

- 1) Ciclo de degradación concentrada en valles fluviales y yacientes, con moderado encajamiento en la penillanura así como de expansiones erosivas laterales.
- 2) Ciclo de degradación generalizada en relieves positivos de agradación en el fondo de los valles, con mantos de arenas fluviales del orden de 1 m o más de espesor.
- 3) Pocas acciones eólicas concentradas en manchones con engrosamientos arenosos de 1 a más de 2 m de espesor.
- 4) Reactivación contemporánea de la erosión remontante, con moderada profundización de los cauces fluviales (abarrancamiento) y estabilización de los depósitos arenosos citados en 2).

Finalmente, en el esquema de la Fig. 1, se muestra en forma muy simplificada la relación entre las geoformas principales y algunos suelos fundamentales asociados.

## CONCLUSIONES

En el área central de la comarca natural de "El Cam Arañuelo", se ha ratificado el predominio generalizado procesos de planosolización, que limitan su uso bajo riego. Sin embargo, debido a que existe una densidad apreciable arroyos importantes, en dichas zonas y adyacentes las características edafológicas mejoran de manera notable.

La comprensión geomorfológica y delimitación de las formas fundamentales con suficiente detalle, ha demostrado ser la clave en la diferenciación y distribución de los suelos. Entre otras, se estima será de gran utilidad para futuros estudios de "intensidad alta".

Las tierras más favorables para el regadío (Clases 2, 3, USDI); desarrolladas sobre sedimentos modernos arenos del fondo de los valles y geoformas asociadas ocupan al más del 50 % de la superficie total. Esto hace alentar nuevas e interesantes expectativas de futuros regadíos en buena parte de esta comarca, en relación con su anterior descalificación genérica.



## BIBLIOGRAFIA

- FAO (1977). Guía para la descripción de perfiles de suelos. 2da. Ed., Roma.
- FAO (1979) Soil survey investigations for irrigation. Soils Bull. 42, Rome.
- Gómez y Miguel, V., Pérez Arias, J., Hidalgo R., Bescansa P., Torcal, L. y Blázquez, R. (1984). Problemática y propiedades de los "Planosoles" (Palexeralf) de El Campo Arañuelo (Caceres, España). I Congr. Nac. C. Suelo, Madrid.
- Holdridge, L. (1961) Curso de ecología vegetal. Inst. Int. Cs. Agr. San José, Costa Rica.
- Roquero, C. (1980). Planosoles de "El Campo Arañuelo". Via de estudios. Cátedra Edafología, ETSIA-UPM.
- SCS (1972) Soil Survey Laboratory Methods and Procedures for Collecting Soil Samples. Soil Survey Inv. Report Nº7, USDA.
- SCS (1975) Soil Taxonomy. Agr. Handbook Nº 436, USDA.
- Storie, E. (1963) Estudio edafológico y evaluación de terrenos del Proyecto Tajo-Tietar. Centro Est. Hidr. MOPU.
- TECNITEC (1971) Estudio edafológico de los sectores 9 a de los riegos de Valdecañas (El Campo Arañuelo), IRYDA.
- U.S. Bureau of Reclamation Manual (1953, 1975). V: V, Irrigated Land Use, Part 2: Land Classification, USDI.

## ASPECTOS EDAFICOS DE LOS HAYEDOS NAVARROS

O. Sánchez Palomares (\*), M.P. Carretero (\*\*), R. Elena (\*)

(\*) Dep. Sistemas Forestales. CIT-INIA. Madrid.

(\*\*) Unidad de Ecología. SIA. Comunidad de Madrid.

### INTRODUCCION.

El haya (*Fagus sylvatica* L.) es, desde el punto de vista ecológico, una especie autóctona española que tiene caracter climácico en una buena parte de las montañas Cantabro-Pirenaicas, donde el clima tiene una notable influencia oceánica, siempre dentro de una localización altitudinal relativamente elevada (CEBALLOS et RUIZ DE LA TORRE, 1971).

Su gran actividad transpiradora, que la obliga a vivir en ambientes húmedos durante el periodo vegetativo, lleva consigo la posibilidad de un bombeo de nutrientes de las partes inferiores de sus suelos y el aporte en el desfronde de sus retos orgánicos proporcionan un suelo fértil, estable y evolucionado.

Por otro lado, en España, el haya se encuentra en el borde de su área de distribución natural, lo que implica que sea mucho mas sensible a las oscilaciones de los distintos factores ecológicos, entre ellos los edáficos. De aquí el interés que ofrece el conocimiento en profundidad de los factores limitantes, de cara a una posible expansión de esta especie, mas allá de las masas que hoy ocupa.

Desde el punto de vista económico, el haya ocupa en España cerca de 300.000 Has de las que son aprovechadas en método de beneficio de monte alto el 96%. Las existencias se estiman en 42 millones de m<sup>3</sup> y las cortas alcanzan los 155.000 m<sup>3</sup>/cc, lo que supone ser las mayores de entre las distintas especies frondosas autóctonas españolas.

Dentro de esta situación global nacional, el haya es la especie forestal con una distribución mas extensa en Navarra. Sus 92.335 Has suponen el 33,43% de los hayedos españoles, seguidos de lejos por los de Asturias (14,12%) y León (10,65%). Las cortas suponen una proporción aún mayor con el 67% del total de las nacionales de esta especie. Por otro lado, la superficie ocupada por los hayedos navarros presenta una incidencia muy acusada en las comarcas noroccidentales mas montañosas, donde estas masas forestales constituyen una parte importante de la vida económica de estas áreas.

La importancia del tema ha propiciado la realización de un trabajo de investigación sobre la ecología de esta especie en Navarra, realizado por un equipo del INIA de Madrid, alguno de cuyos resultados, desde el punto de vista edáfico, se ofrecen

en esta comunicación.

### MUESTREO DE SUELOS

El estudio ecológico abordado ha llevado consigo la prospección realizada en un conjunto de parcelas de hayedo, elegidas de acuerdo con una estratificación previa del territorio ocupado por masas de esta especie en Navarra.

Dicha estratificación se realizó a partir de la clasificación territorial de Navarra, efectuada en base a datos del medio físico (ELENA et al, 1985). Esta clasificación, junto con la información selvícola previamente recogida, ha permitido el establecimiento de 13 estratos, base del diseño de muestreo efectuado.

Se fijaron un total de 75 parcelas, en cada una de las cuales se efectuó, entre otros trabajos, el estudio del perfil del suelo y la identificación y muestreo representativo de los diferentes horizontes edáficos aparecidos (NICOLAS et al, 1967).

### DETERMINACIONES ANALITICAS EFECTUADAS

Las muestras de suelo recogidas en cada una de las parcelas muestreadas han sido analizadas en laboratorio, habiéndose efectuado las determinaciones analíticas habituales, entre las que cabe destacar:

- Separación de elementos gruesos y análisis petrológico de gravas y gravillas.
- Textura de la tierra fina.
- Contenido en materia orgánica humificada.
- Reacción del suelo (pH).
- Contenido en carbonatos.
- Contenido en N, P, K, Ca y Mg asimilables.
- Contenido en óxidos de hierro libres.

### GRUPOS Y SUBGRUPOS DE SUELOS

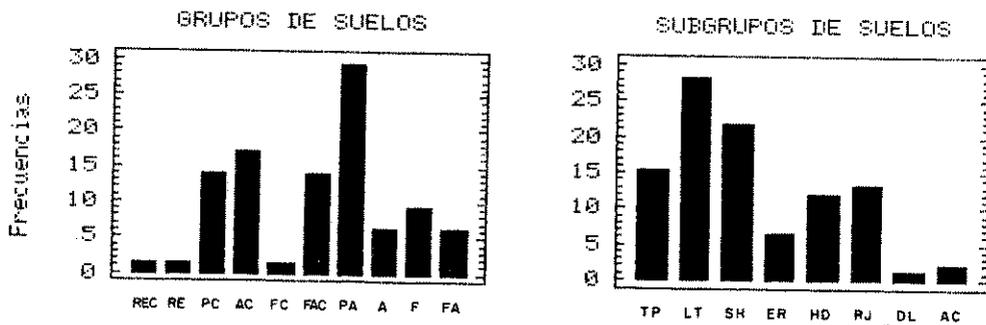
Los resultados analíticos obtenidos, así como los datos de campo recogidos del estudio de los distintos perfiles de suelo muestreado han permitido efectuar la identificación de los horizontes, así como la definición de los grupos y subgrupos de suelos presentes. Esta caracterización se ha realizado siguiendo la nomenclatura y criterios establecidos en la "Clasificación básica de los suelos españoles" (GANDULLO, 1984).

Los grupos principales de suelos así como los subgrupos presentes en los hayedos muestreados y las frecuencias con que han aparecido figuran en los cuadros siguientes:

<u>Grupo de suelo</u>	<u>Frec.</u>	<u>Grupo de suelo</u>	<u>Frec.</u>
Rendzina empardecida carbonatada (REC)	1.54	Ferriargilúvico calizo (FAC)	13.85
Rendzina empardecida (RE)	1.54	Pardo ácido (PA)	20.23
Pardo calcimórfico (PC)	13.85	Argilúvico (A)	6.15
Argilúvico calizo (AC)	16.92	Ferrilúvico (F)	9.23
Ferrilúvico calizo (FC)	1.54	Ferriargilúvico (FA)	6.15

<u>Subgrupo</u>	<u>Frec.</u>	<u>Subgrupo</u>	<u>Frec.</u>
Típico (TP)	21.54	Hidromórfico (HD)	16.92
Lítico (LT)	40.00	Rojizo (RJ)	18.46
Subhúmico (SH)	30.77	Dolomítico (DL)	1.54
Erosionado (ER)	9.23	Con ap. colv. (AC)	3.08

Las frecuencias anteriores quedan reflejadas gráficamente en los histogramas que se presentan a continuación:



A la vista de los datos anteriores, se destaca la mayor abundancia de suelos pardo ácidos, argilúvico calizos y ferriargilúvico calizos y pardo calcimórficos, siendo los subgrupos más frecuentes los líticos y subhúmicos.

Separando los suelos con substrato calizo de los silíceos, las frecuencias de uno y otro conjunto están bastante equilibradas, correspondiendo a los primeros el 50,77% y a los segundos el 49,23% restante, lo cual confirma la circunstancia de ser relativamente indiferentes los hayedos a un tipo u otro de substrato.

Por otro lado, la frecuencia con que aparecen suelos poco evolucionados, entendiendo como tales aquellos que no presentan horizontes edáficos de acumulación de arcilla o/y de óxidos de hierro, es del 46,15%, siendo la correspondiente a los suelos evolucionados el 53,85% restante.

La pendiente media de las parcelas estudiadas es elevada, un 33,37%, como corresponde a localizaciones de montaña. Esto confirma la gran frecuencia de suelos poco evolucionados y también de los subgrupos líticos, a pesar de tratarse de estaciones forestales donde se instala una especie autóctona como es el haya.

### PARAMETROS EDAFICOS.

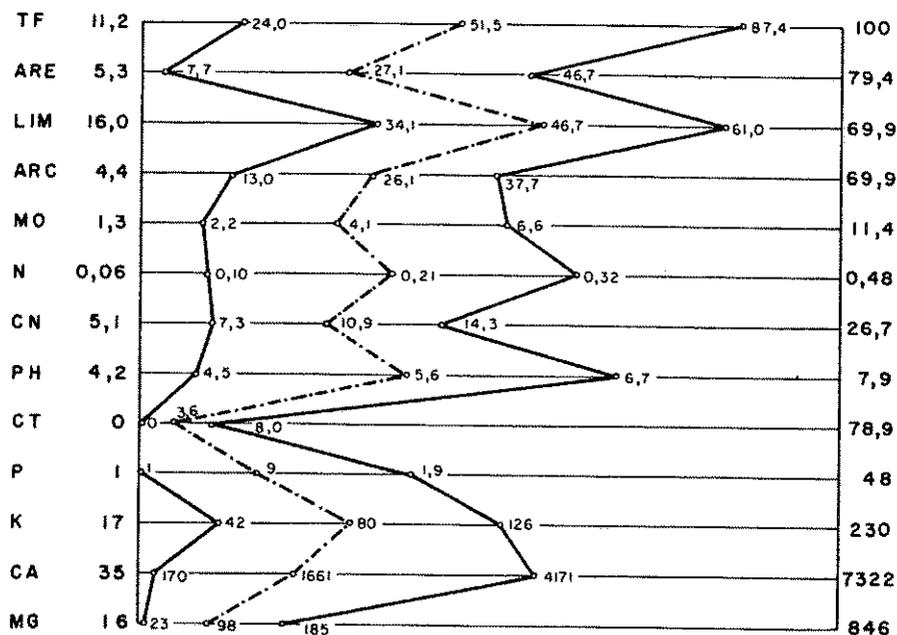
Con vistas a la caracterización ecológica de los biotopos del haya en Navarra, procede la elaboración de parámetros ecológicos, como relaciones numéricas que tratan de cuantificar la influencia que los distintos factores del medio ejercen sobre la especie cuya autoecología se estudia (GANDULLO et al, 1974). En este caso se han elaborado parámetros edáficos a partir de los resultados obtenidos en los análisis, considerando el perfil como unidad de suelo. Ello implica que, según la naturaleza del parámetro, unos de ellos sean la media ponderada según espesor de cada horizonte y otros se obtengan considerando pesos decrecientes según la profundidad (RUSSEL y MOORE, 1968).

Algunos de los parámetros edáficos considerados son los que figuran en el cuadro siguiente, donde asimismo se presentan los valores estadísticos más importantes de sus distribuciones:

PARAM	MEDIA	DESV. STD.	COEF. VAR.	MAX	MIN	RANGO
TF	51.54	24.20	0.47	100	11.2	88.8
ARE	27.12	17.38	0.64	79.4	5.3	74.1
LIM	46.73	11.69	0.25	69.9	16.0	53.9
ARC	26.07	11.37	0.44	69.9	4.4	65.5
MO	4.09	2.05	0.50	11.4	1.3	10.1
N	0.21	0.09	0.43	0.48	0.06	0.42
CN	10.85	3.68	0.34	26.7	5.1	21.6
PH	5.59	0.90	0.16	7.9	4.2	3.7
CT	3.59	11.41	3.18	78.9	0	78.9
P	8.6	9.3	1.08	48	1	47
K	80.3	41.4	0.51	230	17	213
CA	1661.0	1793.4	1.08	7322	35	7287
MG	98.2	112.6	1.15	846	16	830

## HABITAT EDAFICO DE LOS HAYEDOS NAVARROS.

Los valores obtenidos en los parámetros antes mencionados permiten definir el habitat edáfico del haya en Navarra, en función de los intervalos de variación que presentan dichos parámetros. En el esquema adjunto se señalan para cada parámetro los valores mínimo y máximo absolutos, así como el valor medio del mismo. También se definen los límites del intervalo formado por el 80% de las parcelas consideradas, tras excluir el 10% de las mismas en las que el parámetro tomaba los valores mayores y el otro 10% en los que alcanzaba los menores valores (GANDULLO et al, 1974).



Se obtiene así el área que constituye lo que puede llamarse **habitat edáfico central u óptimo**, que ocupa los biotopos donde los parámetros toman valores dentro de ese intervalo del 80%. Las superficies delimitadas entre dicho intervalo central y los dos extremos absolutos constituye el **habitat edáfico marginal**.

Esta definición edáfica de los biotopos permite interpretarla en el sentido de considerar aquellos territorios cuyas características edáficas estén definidas por valores de los parámetros comprendidos entre los límites del habitat

central como mas aptos para que en ellos pueda establecerse con éxito el haya. Por el contrario, la ubicación de esta especie en territorios correspondientes a valores de parámetros edáficos localizados, en todo o en parte, en las superficies del habitat marginal tendrá un resultado mas problemático. Evidentemente las probabilidades de fracaso aumentarán en aquellos biotopos que presenten valores de los parámetros fuera de los límites definidos por los máximos y los mínimos absolutos.

Observando las características de los parámetros edáficos en sus variaciones dentro del intervalo central, así como los estadísticos de dichos parámetros reflejados en cuadro anterior, podemos observar cómo los hayedos navarros presentan unos biotopos con altas variaciones relativas en arena, fósforo, calcio y magnesio, siendo las mayores variaciones absolutas las correspondientes al contenido en tierra fina y materia orgánica. Podría deducirse, en consecuencia, que el comportamiento edáfico del haya en Navarra es de amplia eurioicidad en relación con los citados parámetros.

Por el contrario, parece deducirse una clara estenoicidad en lo que se refiere a los parámetros limo, pH y relación carbono/nitrógeno, cuyas variaciones relativas son bajas.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

CEBALLOS, L. et RUIZ DE LA TORRE, J. 1971. Arboles y Arbustos. INIA-ETSIM. Madrid.

ELENA ROSSELLO, R., CARRETERO CARRERO, M.P. et SANCHEZ PALOMARES, O. 1985. Clasificación Territorial del Pirineo y Prepirineo Navarros. Comunic. INIA. Ser. Rec. Nat. 39. Madrid.

GANDULLO, J.M., GONZALEZ ALONSO, S. et SANCHEZ PALOMARES, O. 1974. Ecología de los pinares españoles: IV *Pinus radiata* D. Don. INIA. Madrid.

GANDULLO, J.M. 1984. Clasificación Básica de los Suelos Españoles. ETSIM. Madrid.

NICOLAS, A. et GANDULLO, J.M. 1967. Ecología de los pinares españoles: I *P. pinaster* Ait. IFIE. Madrid.

RUSSELL, J.S. et MOORE, A.W. 1968. Comparison of different depth weightings in the numerical analysis of anisotropic soil profile data. Proc. 9th Int. Congr. Soil Sci. 4. 205-13.

# IMPACTO DE LA DEGRADACION DE DIVERSOS ECOSISTEMAS FORESTALES DEL CENTRO DE ESPAÑA SOBRE LAS PROPIEDADES FISICAS DE LOS SUELOS

F. VELASCO y J. MESEGUER

Instituto de Edafología y Biología Vegetal. C.S.I.C. MADRID

## INTRODUCCION

En las etapas progresivas hacia la climax, el suelo y la vegetación evolucionan de una manera paralela, desembocando en la formación de ecosistemas estables de mayor o menor complejidad o desarrollo, en función de las condiciones bioclimáticas y geoquímicas concurrentes.

Los bosques cuyo estrato arborescente incluye algunas especies de Cupulíferas, constituyen el óptimo natural de la vegetación; en la última etapa progresiva hacia la climax, han incorporado las especies más nobles y de mayor calidad biológica.

En el Centro de España, están bien representadas en el piso bioclimático meso y supramediterráneo estas formaciones forestales autóctonas, y los suelos climax o climácicos desarrollados, presentan características variables en relación con la composición geoquímica del substrato pero constituyen el modelo de referencia para realizar el estudio comparativo de la evolución que han experimentado a lo largo del devenir histórico y por acción antropógena, diversas propiedades (físicas, fisicoquímicas, bioquímicas, biológicas) del suelo que determinan o condicionan su fertilidad natural.

Las sucesivas etapas regresivas de la vegetación en este área, han desembocado en la formación de matorrales de Ericáceas y Cistáceas, e incluso a veces, en matorrales en avanzada degradación de Labiadas.

En este trabajo, se limita la investigación al estudio del impacto inducido por estas formaciones arbustivas desarrolladas en las etapas subseriales, sobre las propiedades físicas de los suelos.

## MATERIAL Y METODOS

### Breve descripción de las muestras :

Perfil 1 : Cambisol : O (4-0 cm.), A(0-11), Bw(11-26), BC(26-56), R(+56 cm.), desarrollado sobre micacitas, ubicado en el bosque de Fagus silvatica L. (Montejo de la Sierra, Madrid), a 1.245 m.s.m.

Perfil 2 : Cambisol : O(2-0 cm.), A(0-3), Bw(8-23), BC(23-78), R(+78 cm.), sobre micacitas, esquistos, cuarzo y gneis, situado frente al hayedo de Montejo, margen izquierda del río Horcajo, (Guadalajara), a 1.260 m.s.m.  
Vegetación : Erica arborea L.

Perfil 3 : Cambisol : O(3-0 cm.), A(0-7), Bw(7-15), BC(15-67 cm.), sobre material coluvial pedregoso con matriz limoarenosa de micacitas, esquistos y cuarzo, ubicado en el Km. 16 de la Carretera de Montejo a La Higuera (Madrid), a 1.290 m.s.m. en el bosque de Quercus pyrenaica Willd.

Perfil 4 : Cambisol : A(0-3 cm.), Bw (3-20), C(+20 cm.), sobre micacitas, situado en la Carretera de Montejo a Cardoso de la Sierra (Madrid), a 1.210 m.s.m. Vegetación : Pastizal

Perfil 5 : Cambisol A(0-6 cm.), Bw (6-25), C(+ 25 cm.), ubicado en la Carretera de Madarcos a Horcajo de la Sierra (Madrid), sobre gneis, a 1.100 m.s.m. Vegetación : Matorral de Lavandula pedunculata Cav.

Perfil 6 : Cambisol : O(3-0 cm.), A (0-12), Bw(12-45), C(45-60), situado en el Km. 1,5 de la Carretera de El Berrueco a la Presa de El Villar (Madrid), sobre granito, a 930 m.s.m en el Bosque de Q. rotundifolia Lam.

Perfil 7 : Gleysol : O(2-0 cm.), A(0-5), Bw(5-15), Bg(15-30), BCg(+30 cm.), ubicado en el Km. 3 de la Carretera de Berzosa de Lozoya a la Presa de El Villar (Madrid), sobre gneis y esquistos, a 970 m.s.m. Vegetación : Matorral de Cistus ladanifer L. y Rosmarinus officinalis L.

Métodos : El análisis granulométrico se llevó a cabo de acuerdo con KILMER y ALEXANDER (1949). Las determinaciones de la humedad de los suelos a distintos pF, densidad real, densidad aparente, porosidad y permeabilidad al agua, se realizaron según los métodos expuestos por GARCIA LOZANO y GONZALEZ BERNALDEZ (1963). Los resultados correspondientes al porcentaje de agregados estables e índice de inestabilidad estructural, se obtuvieron según los criterios de HENIN, GRAS y MONNIER (1969).

## RESULTADOS ANALITICOS Y DISCUSION

La observación de los resultados expresados en las Tablas I a IV, permite comprobar el impacto de la sustitución del hayedo, sobre diversas propiedades físicas del suelo : Disminución de la Capacidad de Campo en los 25 cm. superficiales del suelo bajo brezal; si bien no se plantean problemas de porosidad (siempre >50 %) de acuerdo con HELLRIEGEL (citado por GAUCHER, 1963), disminuye la microporosidad en superficie, así como el volumen de poros que retienen agua pero no acusadamente.

Así como en el suelo del bosque de Fagus silvatica disminuye con la profundidad la microporosidad y aumenta la macroporosidad, en el suelo degradado por el brezal, se invierten los términos.

Si bien la permeabilidad al agua en el suelo representativo del hayedo es muy favorable, alcanzando 3.000 mm/hora, en el suelo bajo brezal baja acusadamente; también disminuye el % de agregados estables y aumenta considerablemente el índice de inestabilidad estructural; se observa pérdida de arcilla.

Cuando se compara el efecto producido por la destrucción del bosque autóctono de Quercus pyrenaica sobre el suelo, se aprecia en el Perfil edáfico correspondiente al pastizal (perfil 4), no sólo una pérdida de ar-

cilla, sino también una disminución del índice de agregados estables en su superficie y un aumento de la inestabilidad estructural, así como la disminución del volumen de poros que retienen agua, de la macroporosidad y porosidad total y, sobre todo, de la permeabilidad al agua.

Las fotografías aéreas de la zona realizadas hace varios decenios, son demostrativas de su parcelación y anterior dedicación al cultivo.

Comparando el efecto inducido por el cantuesar (Perfil 5) sobre el antiguo suelo ocupado por el melojar, se observa una pérdida considerable de arcilla con cambio del tipo o clase textural (FAO), incremento de la inestabilidad estructural en profundidad y disminución considerable del Índice o % de agregados estables, de la Capacidad de Campo y del agua útil.

En cuanto al impacto provocado por el establecimiento del jaral en el área anteriormente ocupada por el encinar, se comprobaba la disminución del Índice de agregados estables, de la Capacidad de Campo, del volumen de poros que retienen agua, de la microporosidad, macroporosidad y porosidad total, de la permeabilidad al agua, y el aumento del Índice de Inestabilidad estructural.

#### R E S U M E N

Se demuestra cómo la destrucción del bosque autóctono de Fagus silvatica, Quercus pyrenaica y Q. rotundifolia en tres áreas representativas del piso supramediterráneo del Centro de España y la ocupación de estos espacios forestales respectivamente por matorrales de Erica arborea, Lavandula pedunculata o pastizal, y jaral (Cistus ladanifer), induce un empeoramiento de diversas propiedades físicas del suelo (porosidad, permeabilidad al agua, estabilidad estructural, etc) y, por tanto, de la fertilidad física.

#### B I B L I O G R A F I A

GARCIA LOZANO, F. y GONZALEZ BERNALDEZ, F. 1963. Métodos para análisis de las propiedades físicas del suelo. C.E.H., Madrid, 38 p.

GAUCHER, G. 1968. Traité de Pedologie Agricole. Le sol et ses caracteristiques agronomiques, 578 p. Dunod, Paris

HENIN, S. GRAS, R. y MONNIER, G. 1969. Le Profil Cultural., Masson, 232 p.

KILMER, V.J. y ALEXANDER, L.T. 1949. Method of making mechanical analyses of soils. Soil Sci., 68 :15-24

T A B L A I

VALORES CARACTERÍSTICOS DE						PF (%)		H <sub>2</sub> O	
Per	Horiz-	PF:2,0	PF:2,7	PF:4,2	Agua	util			
fil	zonte								
1	0	47,7	36,3	19,4	18,9				
1	A	44,5	33,6	15,9	17,7				
1	Bw	38,2	27,7	11,1	16,6				
1	BC	37,9	26,4	10,7	15,7				
2	A	40,7	31,9	15,6	16,3				
2	Bw	34,1	26,0	9,1	16,9				
2	BC	39,2	28,4	8,4	20,0				
3	A	34,1	24,7	10,1	14,6				
3	Bw	30,4	19,7	6,9	12,8				
4	A	28,0	17,9	6,7	11,2				
4	BC	26,8	16,7	5,6	11,1				
5	A	20,3	9,9	5,8	4,1				
5	Bw	19,5	7,9	4,6	3,3				
6	A	18,0	13,9	8,6	5,3				
6	Bw	13,0	9,3	5,2	4,1				
7	A	13,0	7,0	3,5	3,5				
7	Bw	12,5	6,5	3,0	3,5				
7	BG	20,3	14,2	8,0	5,2				

T A B L A II

Densidad aparente	Densidad real	Porosidad tal %	Microporosidad	Macroporosidad	Microporosidad/Macroporosidad
1,12	2,49	65	34	29	1,17
0,90	2,39	65	28	37	0,76
1,05	2,48	63	25	38	0,66
0,90	2,54	66	23	43	0,53
0,80	2,62	71	24	47	0,51
0,98	2,71	64	25	39	0,64
1,02	2,70	62	29	33	0,88
1,10	2,73	59	27	32	0,84
1,30	2,78	53	26	27	0,96
1,45	2,66	50	24	26	0,92
1,64	2,66	43	25	18	1,39
1,21	2,72	61	11	50	0,22
1,48	2,76	51	11	40	0,28
1,11	2,54	56	15	41	0,37
1,30	2,61	50	12	38	0,32
1,50	2,63	43	10	33	0,30
1,53	2,62	42	10	32	0,31
1,61	2,63	39	24	15	1,60

T A B L A III

PER HORIZONTE	% AGREGA DOS ESTABILES	INDICE DE INESTABILIDAD	PERMEABILIDAD AL AGUA mm/litro
1 0	42,0	0,37	3,000
1 A	41,0	0,41	1,300
1 Bw	53,0	0,31	570
1 BC	47,0	0,32	950
2 A	28,7	0,55	109
2 Bw	24,8	0,64	92
2 BC	31,5	0,76	
3 A	39,1	0,41	1,100
3 Bw	29,1	0,82	40
3 BC	16,5	1,93	
4 A	29,8	0,80	
4 BC	21,9	1,09	3
5 A	23,9	0,33	
5 Bw	14,9	1,07	25
6 A	28,2	0,63	80
6 Bw	24,6	0,62	23
7 A	17,0	0,86	60
7 Bw	9,3	2,25	13
7 Bg	16,3	2,08	1

T A B L A IV

	% ARENA 2-0,05 mm.	% LIMO 0,05 - -0,005 mm.	% ARCILLA 0,002 mm.	CLASE TEXTURAL
	47,37	32,28	20,35	Franca
	51,28	28,11	20,61	"
	52,39	29,89	17,72	Franco arenosa
	54,37	27,31	18,32	"
	66,80	21,26	11,86	Franco arenosa
	70,04	18,53	11,43	"
	61,30	25,52	13,18	"
	58,16	26,35	15,49	Franco arenosa
	58,45	26,14	15,41	"
	57,28	27,22	15,30	"
	70,82	21,24	7,94	Franco arenosa
	64,78	24,70	10,53	"
	82,04	14,40	3,56	Arenoso franca
	80,33	15,33	4,34	"
	78,22	15,02	6,76	Arenoso franca
	79,26	14,12	6,62	"
	72,16	24,53	3,31	Arenoso franca
	69,76	18,15	12,09	Franco arenosa
	64,53	16,38	19,09	"

# REPRESENTATIVIDAD DE LAS ESTACIONES METEOROLOGICAS RESPECTO AL FACTOR ALTITUD

Antonio SAA REQUEJO  
José María GASCO MONTES

Dto. de Edafología, E.T.S.I. Agrónomos.  
U. Politécnica de Madrid.  
Avda. Complutense s/n. Madrid 28040.

## RESUMEN

La representatividad de las estaciones meteorológicas ha sido estudiada respecto al parámetro altitud. Para ello se han formado 4 muestras de altitud. La primera es una muestra aleatoria del relieve de la España Peninsular. Las tres restantes corresponden a estaciones de distintas redes meteorológicas (INM 1990, Elías et al 1989, Font 1983). En total se han analizado 17.500 altitudes.

La muestra de altitud de cada red ha sido sometida a un test t de diferencia de las medias y al test de Levene de igualdad de las varianzas (Dixon 1975).

Los resultados revelan que las poblaciones son diferentes según el test t y el de Levene. Ello debe atribuirse a que el muestreo de las estaciones no es aleatorio respecto al parámetro altitud.

## INTRODUCCION

La altitud es un factor que influye en la lluvia (p.e. Mingteh Chang 1973 y Browning y Hill 1981) y de forma más general en el clima (p.e. Carballera 1981, Calabuig et al 1984, Villa et al 1985, Guijarro 1986).

Mingteh Chang (1973) hace una comparación de los histogramas de altitudes de la zona de referencia y de la red de estaciones, lo que sugiere la necesidad de profundizar en el análisis de la representatividad de las redes de estaciones meteorológicas respecto al parámetro altitud.

## MATERIAL Y METODO

Se ha elaborado una base de datos tomando el valor de la altitud en cada vértice de una rejilla de 4 Km por 4 Km restringido al ámbito geográfico de la España Peninsular. Para facilitar el cálculo se han efectuado simplificaciones a 8 Km por 8 Km, expresando la altura en decámetros. Esta red cuenta con 8147 vértices que estimamos como muestra aleatoria representativa de la altura del relieve.

También se han tomado tres redes de estaciones meteorológicas: Instituto Nacional de Meteorología (INM) cc

9000 estaciones, CORINE con 287 y Font (FONT) con 66 para construir otras tantas colecciones de altitudes.

Los datos se han representado en histogramas y se han sometido al test t de diferencia entre medias con consideración de la igualdad y la desigualdad de las varianzas, y también al test de Levene de igualdad de las varianzas (Dixon 1975). Para ello se han usado los programas 5D y 3D del paquete de estadística BMDP puede ser ejecutado en un ordenador personal con sistema operativo DOS.

## RESULTADOS

Los histogramas presentan asimetría (fig. 1). Los correspondientes a las redes meteorológicas son bimodales con una acumulación entre los 80 y los 170 metros. Ninguna muestra de población se ajusta a la distribución normal (fig. 2).

Los resultados del test t evidencian que las poblaciones tienen medias diferentes y el test de Levene indica que las varianzas no son iguales (tabla 1), aunque la red CORINE presenta la probabilidad más alta de que si lo fueran. Esto último debe atribuirse al muestreo sistemático mediante polígonos Tiessen que se hizo para formar dicha red.

Los resultados se consideran habitualmente válidos pese a la falta de normalidad de las poblaciones debido a las altas probabilidades de las hipótesis. Además, el test t no se ve afectado por desviaciones moderadas de la normalidad y el test de Levene aplicado se basa en el estadístico W, en vez del F, con la finalidad de que sea menos sensible a estas desviaciones (Dixon 1975).

La diferencia de la media y la falta de igualdad de la varianza puede deberse a que el muestreo de las estaciones no es aleatorio respecto al factor altitud. Este hecho sugiere la racionalización de las redes de estaciones meteorológicas.

## BIBLIOGRAFIA

BROWNING, K. A. Y HILL, F. F. 1981. Orographic rain. Weather. 36: 326-329.

CALABUIG, E. L., NAVASCUES, I. M., ZUAZUA, M.T. 1984. Aplicación del análisis factorial a variables climatológicas de la provincia de Salamanca. En A. Blanco de P. Avances sobre la investigación en bioclimatología. U. Salamanca. CSIC. Salamanca. p: 523-532.

CARBALLEIRA, A. et all. 1981. Predicción de parámetros climáticos de interés ecológico en Galicia: I. Relación Clima - Topografía. An. Edafol. Agrobiol.. 4: 2121-2137.

CORRADINI, C. 1985. Analysis of the effects of orography on surface rainfall by a parametrized numerical model. J. of Hydrology. 77(1/4): 19-30.

DIXON, W. J. 1985. BMDP Statistical Software. Univ. California Press. Los Angeles. 734 p.

FONT TULLOT, I. 1983. Climatología de España y Portugal. Ins. Nnal. Meteorología. Madrid. 296 p.

GUIJARRO, J. A. 1986. Contribución a la bioclimatología de Baleares. Vol 1. Tesis doctoral. Univ. Islas Baleares. Palma de Mayorca. 282 p.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. 1990. Situación indicativos de las estaciones meteorológicas españolas. Madrid.

MINGTEH CHANG, B. S. 1973. Effects of topography and site exposure on precipitation distribution in mountainous areas. Tesis doctoral. Morgantown. 149 p.

VILLA, D., GUERRA, J. Y CORRES, R. 1985. Análisis estadístico de la pluviometría en la Península Ibérica. A-132. Ins. Nnal. Meteorología. Madrid. 37 p.

BMDP3D DIFERENCIAS DE ALTITUDES  
DIFFERENCES ON SINGLE VARIABLES

Tabla 1

```

*****
# ALTITUD # VARIABLE NUMBER 2      GROUP 1 ESP      2 INM
*****
      STATISTICS  P-VALUE  DF      MEAN  69.9023  56.7801
      STD DEV  42.1358  39.0336
      S.E.M.   0.4668  0.4115
T (SEPARATE)  21.09  0.0000 16633.7  SAMPLE SIZE  8148  8999
T (POOLED)   21.17  0.0000 17145   MAXIMUM  700.0000  270.0000
      MINIMUM  1.0000  0.0000

F (FOR VARIANCES)
LEVENE      1.18  0.2767  1,****
  
```

```

*****
# ALTITUD # VARIABLE NUMBER 2      GROUP 1 ESP      3 CORINE
*****
      STATISTICS  P-VALUE  DF      MEAN  69.9023  53.8850
      STD DEV  42.1358  40.0916
      S.E.M.   0.4668  2.3665
T (SEPARATE)  6.64  0.0000 308.7  SAMPLE SIZE  8148  287
T (POOLED)   6.34  0.0000 8433   MAXIMUM  700.0000  226.0000
      MINIMUM  1.0000  0.0000

F (FOR VARIANCES)
LEVENE      0.14  0.7056  1,8433
  
```

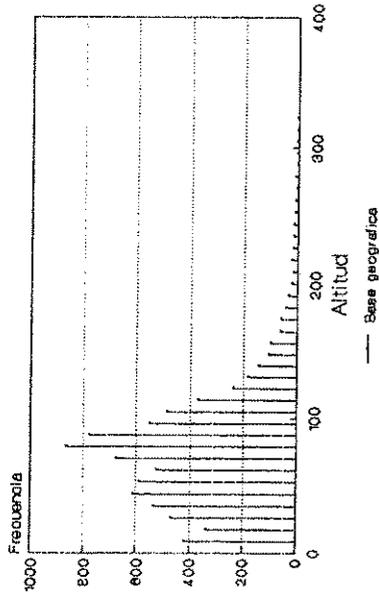
```

*****
# ALTITUD # VARIABLE NUMBER 2      GROUP 1 ESP      4 FONT
*****
      STATISTICS  P-VALUE  DF      MEAN  69.9023  44.7424
      STD DEV  42.1358  45.9101
      S.E.M.   0.4668  5.6511
T (SEPARATE)  4.44  0.0000 65.9  SAMPLE SIZE  8148  66
T (POOLED)   4.83  0.0000 8212   MAXIMUM  700.0000  186.0000
      MINIMUM  1.0000  0.0000

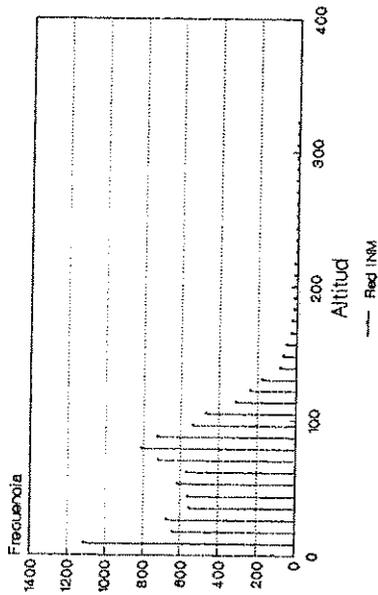
F (FOR VARIANCES)
LEVENE      2.72  0.0994  1,8212
  
```

Figura 1

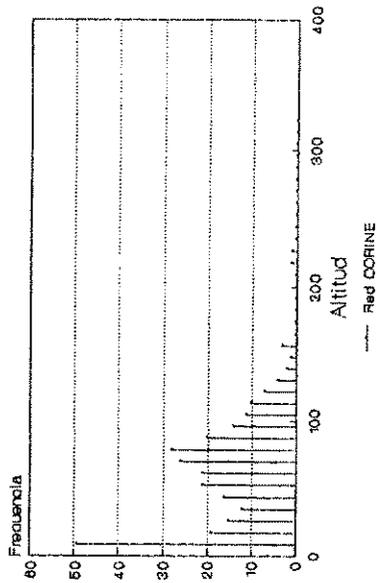
# BASE GEOGRAFICA HISTOGRAMA



# RED INM HISTOGRAMA



# RED CORINE HISTOGRAMA



# RED FONT HISTOGRAMA

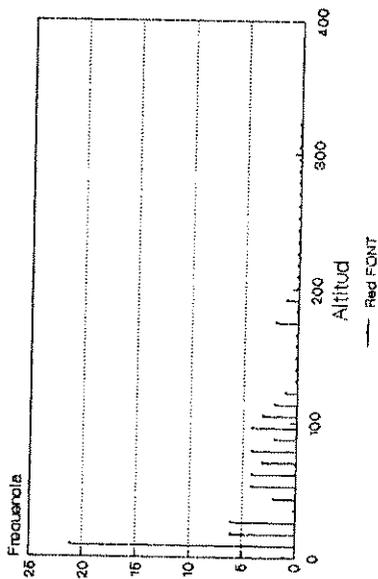
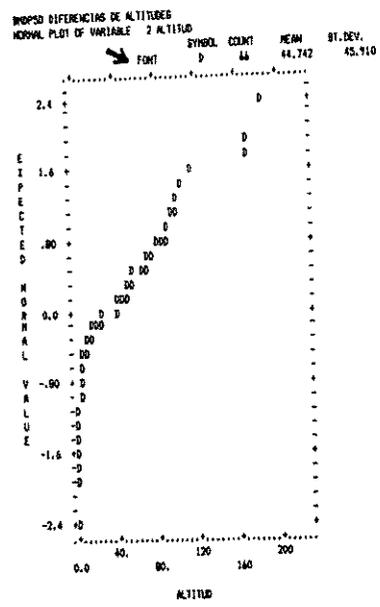
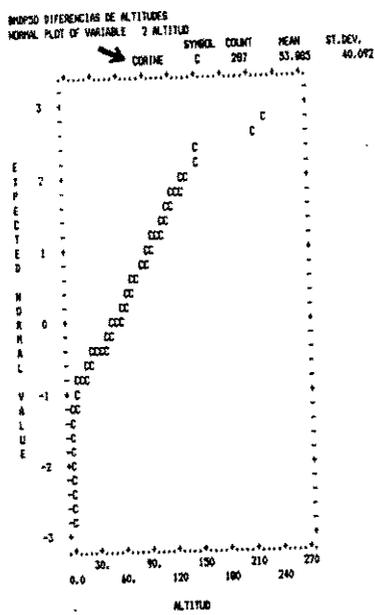
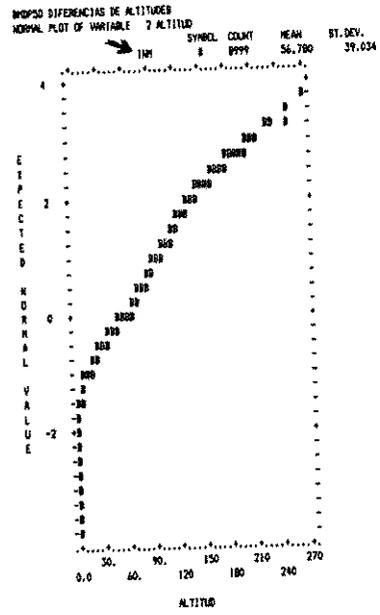
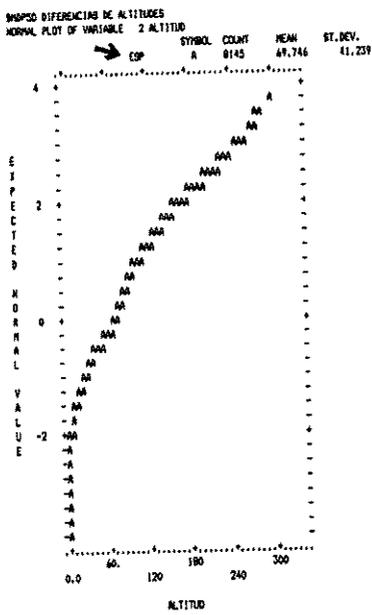


Figura 2



## FORMAS DE DEGRADACION DEL SUELO EN AREAS PASCICOLAS DEL PIRINEO CENTRAL

M. ALCUBILLA, J. ASCASO, V. FERRER y C. FERRER

Departamento de Agricultura y Economía Agraria, Universidad de Zaragoza.

### INTRODUCCION

La degradación del sistema suelo-vegetación constituye un grave problema en la mayoría de las zonas de montaña. A la erosión geológica natural se suman los procesos derivados del inadecuado uso de la tierra, que pueden romper el equilibrio ecológico. Esto comporta muchas veces la destrucción del manto vegetal y la pérdida de suelo.

Las zonas pascícolas son especialmente sensibles a estos fenómenos. A las particulares características de los ecosistemas de montaña habría que añadir los cambios económico-sociales sucesivos que han afectado a estas zonas y la consiguiente variación en el aprovechamiento de los pastos que ha conducido a una concentración del uso ganadero en áreas determinadas o al abandono de los pastos de puerto en otras. Esto implica una alteración del ecosistema silvo-pastoral, que en determinadas superficies supone el incremento de los fenómenos de degradación de los suelos y la vegetación. De ahí la necesidad de profundizar en el conocimiento actual de las formas de erosión y de los factores que las determinan.

Con el presente trabajo se pretende ofrecer una breve información sobre el modo de abordar el estudio en dos áreas pascícolas del Pirineo Aragonés y sobre los primeros resultados obtenidos. Está enmarcado en un Proyecto de Investigación financiado por la Diputación General de Aragón -"Planificación del aprovechamiento potencial de los pastos de puerto del Valle de Benasque (Pirineo Oscense)"- y en una Acción Integrada Hispano-Alemana -"Caracterización edáfica y fitosociológica de algunas zonas de montaña del Pirineo Aragonés"-, realizada en conexión con la Cátedra de Edafología de la Universidad de Munich.

### ZONA DE ESTUDIO

Las observaciones se han centrado en dos áreas de "pastos de puerto" (aprovechamiento estival) ubicadas en el Valle de Benasque (Pirineo Central): zona de Salvaguardia, en la cabecera del valle del río Esera, y zona de Amprú, valle lateral situado en la margen izquierda del Esera. Ambas áreas están constituidas por materiales paleozoicos y se encuentran a altitudes comprendidas entre los 1.600 y los 2.500 m.

### METODOLOGIA DE TRABAJO

En 1973 LAATSCH y GROTTENTHALER [1] publicaron un nuevo tipo de mapa de inestabilidad de pendientes para una región de los Alpes Bavaros (distrito de Miesbach). Este mapa tenía como finalidad la ordenación del territorio y la planificación pascícola y forestal de la zona, y ha servido como modelo y pauta básica para la cartografía que el MINISTERIO BAVARO DE AGRICULTURA [2] está desarrollando en el ámbito de los Alpes Bavaros. Hasta ahora se han publicado, además de la hoja de Miesbach, las de otros cinco distritos, que representan un total de 283.000 ha. Otros trabajos de LAATSCH y sus colaboradores [3,4,5,6,7] complementan la comprensión de los fenómenos y ayudan enormemente a realizar observaciones en otros ámbitos semejantes. MÖSSMER [8,9] aplica los resultados de estos estudios a la problemática de los pastos abandonados en varias zonas de los Alpes Bavaros.

La metodología se basa en la caracterización y diferenciación de las superficies de montaña según el proceso de erosión que esté ya teniendo lugar o que posiblemente pueda desarrollarse (forma de inestabilidad), así como en la evaluación del grado de inestabilidad.

Factores que influyen de manera singular en estos fenómenos de erosión son la altitud, la pendiente de la ladera, los efectos del clima y el sustrato edáfico.

Las formas de inestabilidad indican la mecánica del posible proceso de traslación de material edáfico. LAATSCH y GROTTENTHALER [1,3] las clasifican en cuatro grupos:

### FORMAS DE INESTABILIDAD

#### a) Superficies con riesgo de pérdidas de masa edáfica

- Denudación superficial del suelo por deslizamiento lento de una capa de nieve.
- Canales producidas por avalanchas de nieve.
- Pérdida de humus en suelos poco profundos sobre sustratos carbonatados.
- Desplazamiento de la vegetación herbácea por pisoteo del ganado.
- Desprendimiento de la capa del suelo originado por causas diversas.
- Erosión profunda, causada principalmente por el agua, con formación de hendiduras o barrancos.
- Erosión por el viento (forma incluida en los trabajos posteriores [2]).

#### b) Superficies con riesgo de ser cubiertas por materiales alóctonos

- Laderas cubiertas de derrubios rocosos.
- Superficies llanas con aportes transportados por el agua.

#### c) Superficies, en si estables, pero que acumulan agua o nieve susceptibles de erosionar partes inferiores de la ladera

#### d) Afloramientos rocosos.

A veces en la misma superficie aparecen combinadas varias formas de inestabilidad.

Cada una de las formas tiene asociados criterios que permiten su diferenciación en el paisaje, tal y como se han localizado en el ámbito de los Alpes Bávares. A su vez, se han establecido recomendaciones sobre la forma de utilización o de saneamiento de las superficies afectadas por estos fenómenos.

En el mapa (escala 1:25.000) se representan tres grados de inestabilidad de las laderas (verde= superficie estable, amarillo= medianamente inestable, rojo= muy inestable). Las superficies inestables se caracterizan además como mínimo con una letra, que simboliza una forma determinada de inestabilidad, es decir la tendencia a un proceso definido de pérdida de suelo cuando el uso del terreno es inadecuado. También se señalan con símbolos alguna características importantes de la economía del agua de la zona cartografiada.

Un aspecto importante de los trabajos de LAATSCH y colaboradores es el establecimiento de relaciones entre el sustrato geológico/edáfico y la extensión y localización de las diferentes formas y grados de erosión.

Existen, sin duda, otras muchas aproximaciones metodológicas para llevar a cabo un estudio sobre la degradación de los suelos en zonas de montaña. Se podrían citar, como ejemplo, los trabajos de COROMINAS y ALONSO [10], GARCIA-RUIZ y PUIGDEFABREGAS [11], SERRANO e IZQUIERDO [12], así como numerosas monografías existentes sobre el tema de la erosión [13,14,15,16,17 entre otras]. Hemos seleccionado el método de estudio de LAATSCH y GROTTENTHALER [1] porque nuestros objetivos concretos en el estudio de áreas pascícolas se corresponden en gran medida con los suyos.

### OBSERVACIONES SOBRE FORMAS DE INESTABILIDAD EN EL VALLE DE BENASQUE

Hasta el momento se han podido reconocer las siguientes formas entre las descritas por LAATSCH y GROTTENTHALER [1]:

#### Grupo a) Superficies con riesgo de pérdidas de masa edáfica

- En la zona de Salvaguardia pudimos detectar claramente el fenómeno de denudación superficial del suelo por deslizamiento de capas de nieve. Dos días después de una precipitación en forma de nieve (espesor de la capa 15-20 cm) observamos varias zonas de

- deslizamiento de franjas de nieve en laderas de pendiente media 30°, exposición sur y altitud de 1.900 a 2.200 m. La nieve había arrastrado material de la capa superior de los correspondientes suelos, tierras pardas de más de 90 cm de profundidad formadas a partir de derrubios de esquistos y con vegetación herbácea pascícola.
- También en el área de Salvaguardia, en bosque pastoreado de *Pinus uncinata*, se encuentran varias canales producidas por avalanchas de nieve. Pueden reconocerse restos de árboles abatidos y cambios importantes en la vegetación y en el suelo, que se han estudiado con detalle por comparación de una zona afectada con una superficie forestal adyacente no afectada por las avalanchas.
  - La forma de inestabilidad "desplazamiento de la vegetación herbácea por pisoteo del ganado", tal y como la describen LAATSCH y GROTTENTHALER [1], abunda en las dos áreas de estudio del Valle de Benasque. En Salvaguardia se ha reconocido claramente a altitudes de 1.900-2.200 m, en pendientes del orden de 30° sobre tierras pardas de textura franca formadas a partir de derrubios de esquistos. También aparecen a altitudes más bajas, con menor pendiente y sobre suelos de gley y pseudogley que soportan el tránsito frecuente del ganado. En Ampriu se reconocen estas formas de inestabilidad en laderas con pendientes de 15-25°, sobre tierras pardas formadas a partir de morrenas entre 1.600 y 1.900 m de altitud.
  - Dentro de la forma de inestabilidad "desprendimiento de la capa del suelo", pueden identificarse varios tipos:
    - . En el área de Ampriu aparecen desprendimientos en forma de media luna asociados a surgencias de agua en laderas de 20-30°. A menudo se presenta en el subsuelo un cambio de sustrato y aparecen esquistos con buzamiento en el sentido de la pendiente que actúan como capa impermeable.
    - . Otros desprendimientos parciales o totales de la capa edáfica están asociados a los taludes de las pistas forestales o turísticas. Pueden presentar también forma semicircular. Son frecuentes en los materiales de morrena de Ampriu, con suelos del tipo tierra parda. En Salvaguardia aparecen estas formas de inestabilidad más aisladamente; se han detectado en una ladera con pendiente de 30° y suelos de tierra parda formados a partir de derrubios de esquistos.
    - . También se dan desprendimientos laterales de capas de suelo asociados a los abarrancamientos.
  - En el área de Ampriu sobre materiales blandos (morrenas y esquistos deleznales meteorizados) se encuentran hendiduras, más o menos profundas, en laderas de pendiente variable. El agua desciende por ellas esporádicamente (fusión de la nieve, tormentas, etc.), con tendencia a la formación de barrancos.

### Grupo b) Superficies con riesgo de ser cubiertas por materiales alóctonos

- Dentro de esta forma de inestabilidad se presentan principalmente dos tipos:
- En el área de Salvaguardia son importantes por su extensión las laderas que reciben directamente derrubios procedentes de la meteorización física de rocas situadas en la parte superior del relieve. El transporte a lo largo de la ladera tiene lugar bien por la fuerza de la gravedad o bien, en muchos casos, por acción de la nieve. En estas zonas encontramos litosuelos o suelos poco desarrollados. En Ampriu se encuentra esta forma asociada sobre todo a afloramientos calizos y tiene menor extensión por la configuración del relieve.
  - Superficies llanas cubiertas de materiales aluviales se encuentran sólo a lo largo de los cauces de agua. En la base de Salvaguardia, el Plan de Están está configurado por este tipo de materiales, que en la actualidad constituyen un suelo de tipo gley con vegetación herbácea.

### Grupos c y d) Superficies que pueden acumular agua o nieve con posibilidad de erosionar partes inferiores del relieve (c) y afloramientos rocosos (d).

Se reconocen en las dos áreas de estudio del Valle de Benasque, aunque todavía no han sido objeto de investigación detallada.

### Otras formas de inestabilidad detectadas en las zonas de estudio

En el ámbito investigado aparecen otras formas que no se corresponden bien con la clasificación de LAATSCH y GROTTENTHALER para los Alpes Bávaros:

- Superficies con desprendimiento lento y remontante de bloques de suelo. El frente de suelo abierto puede tener forma de media luna o ser lineal, y se limita principalmente a la zona enraizada. Este tipo de desprendimiento se presenta en el área de Ampriu entre 1.600 y 1.900 m de altitud, con pendientes de 15 a 25°. Se trata de suelos de tipo tierra parda formados a partir de derrubios estratificados, con cambios notables de textura a lo largo del perfil, que quedan decapitados tras el proceso de erosión. El origen de estas formas debe ser estudiado con exactitud; hipotéticamente podrían estar implicados el pisoteo del ganado, la acción erosiva del agua, los procesos de hielo-deshielo y el viento, por lo menos en las fases actuales.
- Formas de denudación superficial del suelo. LAATSCH y GROTTENTHALER [1] describen formas de denudación superficial del suelo ligadas al deslizamiento lento de la nieve. Sin embargo en Ampriu hemos localizado con frecuencia superficies con escaso recubrimiento vegetal (menor de 10 %) en laderas de poca pendiente y especialmente en crestas suaves y collados. El material de partida es de esquistos o calcoesquistos de laminación delgada y muy fraccionados en la superficie. El origen de estas formas podría buscarse en la acción aislada o conjunta de varios factores que se presentan concretamente en esas partes del relieve: paso frecuente del ganado, sequía (por escasa retención de agua en el sustrato edáfico y por acción del viento y de la insolación), viento (puede eliminar la capa de nieve en invierno dejando el suelo y la vegetación expuestos a la acción de las bajas temperaturas y provocar pérdidas de materia fina), escorrentía (con arrastre de materia fina), procesos de hielo-deshielo de la capa superior del suelo (disgregación).
- En el área de estudio se presenta también una forma de escalonamiento de la superficie del suelo no ligada necesariamente al paso del ganado. Aparece en laderas de pendiente pronunciada con derrubios de esquistos o calizas. El escalonamiento está asociado a la presencia de comunidades caracterizadas por *Festuca eskia* y *F. gautieri* respectivamente, con movimiento lento del material del suelo bien sea por acción de la gravedad, del agua o de la nieve.

### EVALUACION

La evaluación de los grados de inestabilidad y la cartografía de las dos áreas estudiadas, serán objeto de trabajos sucesivos. Han sido ya estudiadas con detalle por SCHAD [18] desde el punto de vista descriptivo y analítico dos catenas de suelos, una en la zona de Salvaguardia y otra en Ampriu, y estamos estudiando otras tres catenas para abarcar todos los materiales de partida. También han sido ya realizados numerosísimos inventarios de vegetación, que están siendo actualmente evaluados. Con esto se pretende poder establecer relaciones entre los suelos, la vegetación y las formas de erosión, con el fin de llegar a conclusiones útiles que permitan establecer recomendaciones sobre medidas de protección del medio y sobre el aprovechamiento adecuado de los recursos, especialmente los silvo-pastorales.

## BIBLIOGRAFIA

1. LAATSCH, W. y GROTTENTHALER, W. (1973): Labilitat und Sanierung der Hänge in der Alpenregion des Landkreises Miesbach. Hrsg.: Bayerisches Staatsministerium f. Ernährung, Landwirtschaft und Forsten.
2. BAYER. STAATSMIN. ELF (Ed.) (1985): Hanglabilitätskartierung im oberbayerischen Alpenraum. Oberforstdirektion Munich.
3. LAATSCH, W. y GROTTENTHALER, W. (1972): Typen der Massenverlagerung in den Alpen und ihre Klassifikation. Forstw. Cbl. 91: 309-339.
4. GROTTENTHALER, W. y LAATSCH, W. (1973): Untersuchungen über den Hangabtrag im Lainbachtal bei Benediktbeuern. Forstw. Cbl. 92: 1-19.
5. LAATSCH, W. (1974): Hangabtrag durch Schnee in den oberbayerischen Alpen und seine Begünstigung durch unpflegliche Almwirtschaft und Wildverbiss. Forstw. Cbl. 93:23-34.
6. LAATSCH, W. y BAUM, U. (1976): Faktoren der Wald-und Bodenzerstörung durch Schnee in den Alpen. Agrochimica 20: 324-338.
7. LAATSCH, W. (1986): The wearing down of mountain slopes. Manuscrito Universidad de Munich.
8. MÖSSMER, E.M. (1985): Einflussfaktoren für die Blaikenerosion auf beweideten und aufgelassenen Almflächen im Kalkalpinen Bereich der Landkreise Miesbach und Rosenheim. Forstliche Forschungsberichte München Nr. 63, 137 pp.
9. MÖSSMER, E.M. (1985): Blaikenburgung auf beweideten und unbeweideten Almen. Jahrbuch des Vereins zum Schutz der Bergwelt 50: 79-93.
10. COROMINAS, J. y ALONSO, E. (1984): Inestabilidad de laderas en el Pirineo Catalán. Tipología y Causas. Jornadas de Trabajo sobre Inestabilidad de laderas en el Pirineo. Barcelona, 1-53.
11. GARCIA RUIZ, J.M., PUIGDEFABREGAS, J. (1984): Inestabilidad de laderas en el Pirineo Aragonés: Tipos de movimientos y su distribución geográfica. Jornadas de trabajo sobre Inestabilidad de laderas en el Pirineo. Barcelona, 1.4.1-12.
12. SERRANO, G. e IZQUIERDO, F. (1984): Informe geológico y geotécnico con vistas a la corrección del torrente Remáscaro (Huesca). Manuscrito de la Biblioteca del Servicio Provincial de Agricultura, Ganadería y Montes de la Diputación General de Aragón. Conservación de la Naturaleza. Huesca.
13. FAO y PNUMA (1980): Metodología provisional para la evaluación de la degradación de suelos. FAO. Roma.
14. HOLY, M. (1980): Erosion and environment. Pergamon Press. Oxford.
15. ZACHAR, O. (1982): Soil erosion. Elsevier. Amsterdam.
16. KIRBY, M.J.C. y MORGAN, R.P.C. (1984): Erosión de suelos. Limusa. México.
17. MONOGRAFÍAS DE LA DIRECCIÓN GRAL. DEL MEDIO AMBIENTE (1988): Desertificación en Europa. MOPU. Madrid.
18. SCHAD, P. (1990): Bodenkundliche Untersuchungen im Hochtal von Benasque (Axiale Pyrenäen) unter besonderer Berücksichtigung von Vegetation und Bodenabtrag. Diplomarbeit, Fakultät f. Biologie der L.M.-Universität München.

Agradecimientos: Nuestro reconocimiento al Prof. Dr. Willi LAATSCH por el tiempo que nos ha dedicado conversando sobre los fenómenos de erosión en los Alpes Bavaros, así como por su compañía y guía para realizar observaciones en su área de estudio. Nuestra gratitud también al Prof. Dr. K.E. REHFUESS y al Dr. F. MAKESCHIN (Cátedra de Edafología de la Universidad de Munich) y a los Ing. For. BURGIS y ROBL (Cátedra de Técnicas del Paisaje de la Universidad de Munich) por su visita a nuestra área de estudio en el Pirineo Aragonés.

