

**REVISTA DE LA SOCIEDAD ESPAÑOLA DE LA
CIENCIA DEL SUELO**

EDAFOLOGÍA

**EDICIÓN ESPECIAL
50 ANIVERSARIO
PONENCIAS**



Publicada por la Sociedad Española de la Ciencia del Suelo

Impreso en: Copistería La Gioconda S.L. C/ Melchor Almagro 16 GRANADA

COMITE DE HONOR

S.A.R. D. Felipe de Borbón. Príncipe de España.
Excma. Sra. D^a Esperanza Aguirre. Ministra de Educación.
Excma. Sra. D^a Loyola de Palacio. Ministra de Agricultura.
Excmo. Sr. D. José María Álvarez del Manzano. Alcalde de Madrid.
Excmo. Sr. D. Rafael Pujol Antolín. Rector de la U. Complutense de Madrid.
Excmo. Sr. D. Saturnino de la Plaza Pérez. Rector del U. Politécnica de Madrid.
Excmo. Sr. D. Raúl Villar Lázaro. Rector de la U. Autónoma de Madrid.
Excmo. Sr. D. Lorenzo Morillas Cuevas. Rector de la U. de Granada.
Excmo. Sr. D. Darío Villanueva Prieto. Rector de la U. de Santiago de Compostela.
Excmo. Sr. D. Jaime Porta Casanellas. Rector de la U. de Lleida.
Excmo. Sr. D. César Nombela. Presidente del C.S.I.C.
Ilmo. Sr. D. Jesús Miranda de Larra y Onís. Presidente del I.N.I.A.
Ilma. Sra. D^a Rosario De Felipe. Directora del Centro de Ciencias Medioambientales. CSIC. Madrid.

COMITE ORGANIZADOR

D. José Aguilar Ruiz. Presidente de la SECS, Catedrático de Edafología, Universidad de Granada.
D. José M. Gandullo. Vicepresidente de la SECS, Catedrático de Edafología. Escuela Técnica Superior Ingenieros de Montes. Madrid.
D. Luis Alcalá del Olmo. Secretario de la SECS, Investigador Científico del CSIC. Madrid.
D^a M^a Carmen Fernández Bermejo. Tesorera de la SECS, Profesora Titular de Edafología. Facultad de Farmacia, Madrid.
D^a María Arias Delgado. Investigadora Científica del CSIC. Madrid.
D^a Juana González Parra. Catedrática de Edafología. Facultad de Farmacia, Madrid.
D. Antonio Guerra Delgado. Catedrático Emérito de Edafología.
D. Juan José Ibáñez Martí. Investigador Científico del CSIC. Madrid.
D. Raimundo Jiménez Ballesta. Catedrático de Edafología. Universidad Autónoma de Madrid.
D. Felipe Macías Vázquez. Catedrático de Edafología. Universidad de Santiago de Compostela.
D. Armando Martínez Raya. Jefe de Proyectos de Suelos y Aguas. CIFA. Granada.
D. Roque Ortiz Silla. Catedrático de Edafología. Universidad de Murcia.
D^a M^a Luisa Tejedor Salguero. Catedrática de Edafología. Universidad de La Laguna.
D. Francisco Velasco. Profesor Investigador del CSIC. Madrid.

INDICE

INTRODUCCIÓN	1
ANTONIO GUERRA DELGADO. Historia de la Sociedad Española de la Ciencia del Suelo.	3
FRANCISCO DIAZ-FIERROS VIQUEIRA. Apuntes historicos sobre la Edafologia Española. El periodo anterior a la Guerra Civil.	17
J.J.IBÁÑEZ, I.MÉNDEZ, Mª.J.MARTÍN SEMPERE, L.PLAZA y J.REY. La Edafología en el CSIC: Evolución o involución productividad y política científica en los antiguos centros relacionados con la Edafología y Agrobiología durante el período 1980-1995. ...	25
La Edafologia En La Universidad Española.	67
Siete Razones Para Hacerse Miembro De La Sociedad Española De La Ciencia Del Suelo	87
PONENCIAS	
PEDRO A. SANCHEZ, ROLAND J. BURESH y ROGER R. B. LEAKEY. Trees, soils and food security.	91
PETER BULLOCK. Sustainable development of soils in western europe-an overview. ..	109
DIEGO DE LA ROSA. Los sistemas de evaluacion de suelos en la planificacion del territorio.	125
WINFRIED E.H. BLUM. El suelo como medio filtración, medio de tamponamiento y de transformación de substancias.	143
G. STOOPS. Application of micromorphological methods to the study of soil sequences in the tropics.	145
CARLOS DORRONSORO. Nuevas tecnologías en la enseñanza de la Edafología: Multimedia, Internet e Intranet.	161
F.C. Ugolini. I suoli polari.	189
ROSA CALVO DE ANTA. El conocimiento del suelo como principio basico de la gestion de suelos contaminados.	211

ILDEFONSO PLA SENTÍS. Evaluación de los procesos de salinización de suelos bajo riego.	241
JOSÉ TORRENT Y VIDAL BARRÓN. El estudio de las superficies minerales activas del suelo: Realidad actual, modelos y perspectivas.	269
J.A. ZINCK. Riesgos ambientales y suelos. Enfoques para la modelización de la erosión por cárcavas y movimientos en masa.	283
ALAIN RUELLAN. The soil cover : Vertical and lateral morphology and functioning...	299
L. CORRAL y J. GIL. Estado actual de la docencia del área de conocimiento de Edafología y Química Agrícola en España	303

INTRODUCCIÓN

La Sociedad Española de Ciencia del Suelo fué fundada en el año 1947, concretamente el 10 de Octubre de 1947, el mismo año que las Sociedades Brasileña e Inglesa cuyo cincuenta aniversario han celebrado este año en julio y septiembre respectivamente.

Los miembros fundadores fueron 17 científicos e ingenieros que rápidamente han ido aumentando hasta la actualidad en que somos 457 socios de todas las ramas científicas y tecnológicas que tienen relación con el estudio del suelo, siendo una de las Sociedades de Ciencia del Suelo más numerosa dentro del contexto internacional.

La Sociedad Española de Ciencia del Suelo tiene carácter interinstitucional e interdisciplinar. Sus miembros pertenecen a Universidades, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, INIA, Organismos de la Administración Estatal y Autonómica, Empresas y Profesionales libres y su procedencia también es muy variada, Ingenieros Agrónomos y de Montes, Químicos, Biólogos, Geólogos, Geógrafos, Farmacéuticos, Ingenieros Técnicos Agrícolas, etc...

Las actividades de la Sociedad hasta el año 1972 consistieron fundamentalmente en reuniones periódicas más o menos frecuentes en las que se analizaban los logros mas sobresalientes dentro de la Ciencia del Suelo, así como la preparación de los Congresos Internacionales, pero en dicho año, y por iniciativa del Prof Iñiguez comenzaron a celebrarse reuniones anuales que nos han permitido tener un conocimiento bastante completo de los suelos de nuestro país. Hasta el momento han sido veinte las Reuniones Nacionales que han tenido lugar, que lógicamente deben continuar, aunque quizás con algunas modificaciones.

Junto a estas Reuniones Nacionales, en el año 1984 tuvo lugar en Madrid el Primer Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo que se viene repitiendo desde entonces cada cuatro años, habiéndose celebrado cuatro Congresos (Madrid, Sevilla, Pamplona y Lérida) este que coincide con el Cincuentenario tiene carácter extraordinario y el próximo a celebrar en Granada tendrá lugar el año 2000.

También han sido varias las Reuniones Internacionales auspiciadas por nuestra Sociedad, así entre ellas son de destacar: La primera Reunión Internacional sobre suelos rojos mediterráneos (Madrid, Granada, Sevilla, 1966), La quinta Reunión Internacional sobre Micromorfología de suelos (Granada 1977), Simposium sobre suelos volcánicos (Tenerife 1980), 12º Congreso Latino-Americano de Ciencia del Suelo (Salamanca 1993), Reunión de suelos afectados por sales (Valencia 1995), Reunión sobre procesos de erosión y medidas de conservación de suelos (Tenerife 1995), Reunión Internacional de suelos con yeso (Lérida 1996) etc...

Este ámbito internacional ha culminado con la adscripción del Centro Temático Europeo del Suelo a nuestro País y su ubicación en Valencia bajo la dirección del Dr José Luis Rubio.

Parte de la labor científica de los miembros de la SECS se incluye en uno de los libros que con motivo del Cincuenta Aniversario se han editado y donde se puede observar que el vehículo más utilizado para la difusión de sus artículos era Anales de Edafología/Suelo y Planta cuya desaparición lamentamos profundamente ya que los estudios de suelos tienen un componente regional o local que obliga a tener Revistas Nacionales, como han entendido la práctica totalidad de los Países de la Unión Europea. Este aspecto intenta enmendarlo la SECS con la creación de una nueva revista "EDAFOLOGIA" cuyo 2º número entregamos hoy con los números correspondientes al Congreso Extraordinario del Cincuentenario y a los Actos de conmemoración del Aniversario. Es de esperar que esta revista se consolide y alcance el prestigio que en su día alcanzó Anales de Edafología.

Un hecho muy de destacar es la cada vez más frecuente colaboración de Socios de distintas regiones para elaborar y realizar un trabajo común que ha culminado con la preparación de una Cartografía Temática cuyas bases se están elaborando.

Con motivo del Cincuenta Aniversario, se han planificado una serie de Conferencias, publicadas a continuación, juntamente con la Historia de SECS, el papel de la Edafología en el CSIC, la historia de la Edafología en las Universidades más representativas del País, el estado de la Edafología en las diferentes Universidades españolas y la 'prehistoria' de la Edafología en España; un Congreso extraordinario de la SECS cuyos artículos aceptados incluimos en un número especial de Edafología y la presentación de la documentación bibliográfica de los trabajos más destacados realizados por sus miembros.

Finalmente queremos hacer constar que para la Clausura, la Comisión Organizadora (refrendado por la Asamblea) ha decidido destacar a aquellos miembros de la SECS que, a su juicio, han sobresalido en los últimos años (los Prof Alias, Guerra, Guitián y Roquero), sin olvidar, por supuesto, a personas como Albareda, Huguet del Villar, Tamés y otros considerados como los grandes iniciadores de la Ciencia del Suelo en nuestro País.

Por último solo me queda reseñar y agradecer el esfuerzo, entusiasmo y trabajo que ha supuesto para todos mis compañeros de la Comisión Organizadora las numerosas reuniones necesarias para diseñar y organizar los actos de este Cincuenta Aniversario. Igualmente quiero destacar la ayuda prestada por mis compañeros de Granada, en la revisión, mecanografía etc, para la elaboración de las memorias. A todos ellos. Muchas Gracias

José Aguilar Ruiz

Presidente de la Sociedad Española de Ciencia del Suelo

HISTORIA DE LA SOCIEDAD ESPAÑOLA DE LA CIENCIA DEL SUELO.

ANTONIO GUERRA DELGADO.

La Comisión organizadora de los actos programados con motivo del 50 Aniversario de la constitución de la Sociedad Española de la Ciencia del Suelo ha tenido a bien la publicación de esta breve historia donde se recogen de forma muy escueta algunas de las vicisitudes del desarrollo de la Sociedad, desde su iniciación, hasta el momento presente. Ha recaído en mi persona dicha responsabilidad, que acepto a sabiendas desde un principio de las dificultades que iba a encontrar. No se trata de hacer una exposición del desarrollo de la Edafología en España, con anterioridad y posterioridad a la constitución de nuestra sociedad, tarea que ya ha sido realizada por los Profesores F. González García y F. Díaz Fierros, con ocasión del I Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, Madrid 1984 y de las Jornadas Edafología-Universidad, Madrid 1987. Me limitaré estrictamente al tema propuesto, para evitar en lo posible, reiteraciones de cuestiones ya publicadas por otros autores, que por diversos motivos académicos o científicos han expuesto la evolución y desarrollo de la Edafología en nuestro país.

La Sociedad Española de la Ciencia del Suelo, en adelante la SECS, se constituye el 10 de octubre de 1947 en los locales del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Medinaceli nº4, como resultado de los trabajos de una comisión organizadora, bajo la dirección del Prof. Marcilla y que la componían los Sres. Albareda, Tamés, Vilas, Cañedo, Ugarte, Cavanillas, Rivas Goday, Echevarría, Burriel, Aguirre, Jiménez Salas y Alvira, este último actuó como secretario. En dicha reunión se aprobó el primer Reglamento que ya había recibido el "visto bueno" por la Dirección General de Seguridad con fecha 27 de mayo del mismo año, así como los Estatutos refrendados por la Jefatura Superior de Policía. Se puso en conocimiento de los asistentes que hasta la fecha se habían recibido 80 adhesiones de "Profesores e Ingenieros de diversas localidades de España". En dicha sesión se acordó celebrar una reunión la última semana de octubre, con el fin de elegir la Primera Junta Directiva con arreglo al Reglamento aprobado. Así, el 29 de octubre de 1947 y con asistencia de 17 personas, se procede al escrutinio para nombrar la Primera Junta Directiva. El total de votos fue de 50 y con arreglo al resultado de la votación fueron nombrados: presidente D. José María Albareda Herrera; vicepresidente, D. Cayetano Tamés Alarcón; secretario D. Tomás Alvira; tesorero D. Jesús Ugarte; bibliotecario D. Vicente Aleixandre Ferrandis; vocal de la sección 1ª, Mecánica y Física del Suelo, D. José Antonio Jiménez Salas; vocal de la sección 2ª, Química del Suelo, D. Fernando Burriel Martí; vocal de la sección 3ª, Biología y Bioquímica del Suelo, D. Félix Gallego; vocal de la sección 4ª, Fertilidad de Suelo, D. Jesús Aguirre; vocal de la sección 5ª, Clasificación de Suelos, D. José Ricardo Abad Botella; vocal de la sección 6ª, Conservación y Mejora del Suelo, D. Jesús Cavanillas; vocal de la sección 7ª, Ecología Vegetal, D. Salvador Rivas Goday.

Con arreglo a la composición de esta Junta Directiva, de lo que se llamó en primer lugar, Asociación Española de la Ciencia del Suelo, que luego pasó a ser denominada Sociedad Española de la Ciencia del Suelo, se inician las actividades de esta Sociedad en nuestro país, constituyendo en lo sucesivo un vínculo de relación entre los estudiosos del suelo integrados en la diversidad de Organismos oficiales que se ocupan de este tema desde aspectos y fines distintos.

Claro es que la constitución en 1947 de la SECS tiene poco que ver con el inicio de la Edafología en España, puesto que con anterioridad existían numerosos antecedentes, expuestos por otros autores, que demuestran que por aquel entonces, nuestro país ocupaba un lugar relativamente digno en relación con el resto de países de nuestro entorno mediterráneo, en su contribución al desarrollo de la Ciencia del Suelo. Gracias a las actividades y esfuerzos de determinadas personas, la SECS se inició con una relativa pujanza puesto que en aquellos años se disponía de centros de investigación, cátedras de Escuelas Superiores y Universitarias, laboratorios y bibliotecas muy al día en la relativo al desarrollo de la Ciencia del Suelo; por otra parte se habían establecido también amplias relaciones internacionales con los países mas desarrollados. En este sentido, aun con el temor de ser reiterativos se debe mencionar, aunque sea muy brevemente, las figuras de D. Emilio Huguet del Villar, precursor e iniciador de la Edafología en España e incluso en toda el área mediterránea, y de la de D. José M^a Albareda Herrera, como investigador y persona que mas ha contribuido a la extensión y desarrollo de la moderna Edafología en nuestro país. A ambos investigadores, que apenas coinciden en el tiempo, les correspondió cumplir con una tarea primordial, cada uno en su época, que hemos de tener presente porque fue decisiva para la constitución de la SECS, sobre una base suficiente y digna de ser reconocida en los medios internacionales.

Emilio Huguet del Villar colaboró en 1925 con los Srs. Quintanilla, Díaz Muñoz y Marcilla, en la constitución de lo que se llamó "Comisión española de Edafología y Geobotánica" dependiente del Ministerio de Fomento, donde informó sobre las conclusiones alcanzadas en la Conferencia internacional de la Ciencia del Suelo que había tenido lugar un año antes en Roma, a la que asistió como representante español y donde contactó con los edafólogos Marbut, Stremme y Treitz, planificándose los proyectos para la elaboración y posterior publicación del Mapa de Suelos de Europa a escala 1/2500000 y en el que Huguet del Villar recibió el encargo correspondiente a la Península Ibérica. En aquel año la ISSS estaba constituida por seis comisiones que luego con los años fueron ampliándose hasta ocho. En 1930 D. E. Huguet del Villar asistió al congreso de la ISSS que tuvo lugar en Moscú y donde presentó el trabajo "Los suelos mediterráneos en España"; a estas reuniones toma parte como miembro de la Estación Agronómica Central que mas tarde se integró en el Instituto Nacional de Investigaciones y Experiencias Agrícolas y Forestales, donde ocupó el cargo de "especialista" en Edafología y Geobotánica, cargo que mantuvo durante cinco años. Durante este tiempo y concretamente en la reunión de la ISSS que tuvo lugar en Dantzig, se creó la Subcomisión para el estudio de los suelos mediterráneos, bajo la dirección de D. E. Huguet del Villar, cargo que mantuvo hasta su fallecimiento en 1951.

En 1931 se crea el Institut Mediterrani dels Sols, dependiente de la Generalitat de Cataluña y Huguet del Villar es nombrado director del mismo, cargo que desempeñó poco tiempo, puesto que en abril de 1934 regresa a su antiguo cometido en Madrid, en el Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias, colaborando también con el Jardín Botánico de Madrid y de forma personal con el botánico Arturo Caballero.

En la etapa preliminar a la creación de la SECS y en concreto al periodo 1925-1934 la labor de la Edafología en nuestro país se plasma en las investigaciones de D. E. Huguet del Villar, pródigo en publicaciones, entre las que destacan: "Avance geobotánico sobre la pretendida Estepa Central española" 1925, donde rechaza las ideas de Marbut sobre la designación de suelos castaños en

nuestro país; la "Geobotánica" 1929; "España en el Mapa internacional de Suelos" 1927, publicado por el Ministerio de Fomento; "El suelo" 1931 y mas tarde "Los Suelos de la Península Luso-Ibérica" publicado en 1937 en español e inglés. Este último trabajo es trascendente no solo por las circunstancias en que fue realizado, sino también porque colocó a España a la cabeza de los países europeos en la publicación del mapa nacional de suelos y también porque incluye una buena parte de la aportación de su autor al conocimiento de los suelos mediterráneos.

Emilio Huguet del Villar escribe en 1950 con ocasión a su participación, inexplicablemente frustrada, al IV Congreso de la ISSS que tendría lugar en Amsterdam "que la creación del Instituto de Edafología y Fisiología Vegetal en 1942, juntamente con la aparición de los Anales de Edafología, constituye la manifestación mas importante, entre las positivas, para el desarrollo de la Ciencia del Suelo en nuestro país". La creación del Instituto de Edafología se debió a la iniciativa y personalidad científica del Prof. J. María Albareda, que ya en el periodo 1928-1936, había recibido una extensa formación científica como becario de la Junta de Ampliación de estudios y posteriormente de la Fundación Ramsay, que le permitió trabajar junto a los Profs. Neuss, Wiegner, Mitscherlich y Russell, entre otros, en temas muy diversos, como son la Coloidequímica, Bioquímica, Química y Fertilidad de suelos. Así, entre los muchos trabajos realizados en aquella época destacan algunos por su carácter eminentemente edafológico, como son: "El suelo como sistema disperso"; "Caracterización de suelos tropicales y subtropicales mediante determinaciones físicas y físico-químicas"; "Sobre la fertilidad de algunos suelos tropicales"; "Composición química de algunas arcillas tropicales y del Sudeste español" y "La razón molecular $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ de las arcillas en la caracterización de los suelos".

A partir de 1940 se inicia en España una nueva etapa en el desarrollo de la ciencia del suelo, aunque la creación de la SECS tendría que esperar varios años; pero en ese intervalo ya se establecen en nuestro país las bases necesarias para su constitución en 1947. La necesidad del autoabastecimiento alimentario en aquellos años, la intensificación de la política de regadíos, los amplios proyectos de repoblación forestal, entre otras actividades, exigían la creación de diversos organismos encargados de su ejecución, así como, y de forma paralela, el desarrollo de la investigación, que permitiera el mejor conocimiento científico de los suelos en consonancia con su manejo y utilización. Por el Ministerio de Agricultura se crea en 1940 el Mapa Agronómico Nacional, que publica en su primera etapa la hojas 1/50.000, de texturas de suelos, bajo la dirección del Ing. José Cruz Lapazarán; El Instituto Nacional de Colonización; El Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias y la Cátedra de Edafología de la Escuela Superior de Ingenieros Agrónomos. Ya ha sido mencionado que el Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias había sido creado con anterioridad, así como la cátedra de Edafología de la Escuela Superior de Ingenieros de Montes.

Por el Ministerio de Educación Nacional la incorporación del Prof. Albareda a la cátedra de Geología Aplicada de la Facultad de Farmacia en Madrid, supuso en su día un paso importante y decisivo en la proliferación de estudiosos del suelo; al mismo tiempo se crea la Sección de Suelos de Instituto Alonso Barba del CSIC, que pronto pasa a Instituto de Edafología Ecología y Fisiología Vegetal en 1942. Poco más tarde, dos de los primeros colaboradores del Prof. Albareda, los profesores Hoyos de Castro y Gutiérrez Ríos obtienen respectivamente las cátedras de Geología Aplicada y Química Inorgánica en la Universidad de Granada, creando las Secciones correspondientes que constituyeron el núcleo para lo que enseguida fue uno de los principales centros de investigación en el Sur de España, la Estación Experimental del Zaidín. También en la misma época se nombra al Prof. Miravilles jefe de la Sección de Suelos del Instituto de Edafología, adscrita a la cátedra de Geología Aplicada de la Facultad de Farmacia de la Universidad de Barcelona. Al mismo tiempo se incorporan al Instituto de Edafología de Madrid los Profesores V. Aleixandre y

F. Burriel, encargados respectivamente de las Secciones de Mineralogía de arcillas y Análisis químico.

Entre los años 1940-1947, se comenzó a aplicar en España nuevas tecnologías para el mejor conocimiento de los suelos, abandonándose poco a poco los métodos centroeuropeos, hasta entonces de uso general, como el del extracto clorhídrico de los suelos, como base para su identificación y clasificación. José M^a. Albareda escribe en 1940 una obra titulada "El Suelo" que a pesar de los años transcurridos, todavía puede considerarse como de lectura obligada para todos los que se inician en Edafología, al considerar el suelo como un sistema disperso regulado por las interrelaciones de todos sus componentes.

La evolución de las técnicas analíticas es evidente, se tiende cada vez más al fraccionamiento del suelo para su mejor caracterización, la fracción arcillosa se pretendía identificar por vía química en función de los parámetros $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$, $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{SiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ y CaO/MgO , que se aplicaron hasta los años 50. Pero mucho antes el Profesor Hoyos durante su estancia en el Instituto Politécnico de Zurich en 1942 aplica por primera vez la röntgenografía en el estudio de los suelos españoles. El profesor Gutiérrez Ríos estudia también a su vez en nuestro país, el mecanismo de la adsorción de las bases de cambio en relación con la estructura cristalina de las arcillas.

La difusión de las modernas técnicas analíticas se concreta en 1942 con la celebración de dos cursos, el primero es organizado por el CSIC en Jaca, en el que intervienen los Profesores Albareda, Pallmann, Alvira, Vilas y Rivas Goday; el segundo lo organiza el Mapa Agronómico Nacional en colaboración con el Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias. Poco más tarde, en 1945, auspiciado por el INIA el Profesor C. Tamés publica el primer libro en castellano sobre "Métodos Físicos y Químicos de laboratorio para el estudio de los suelos y de las tierras de cultivo", tratado de gran valor didáctico y de fácil manejo para los estudiantes universitarios.

Pero los estudios del suelo en aquellos años, se extendieron no sólo a los componentes minerales, sino también a los orgánicos así, Albiñana publica en Anales de Edafología un trabajo sobre "Estudio y fraccionamiento de la materia orgánica en suelos españoles", realizado en el antiguo laboratorio de Suelos del Instituto Alonso Barba y poco mas tarde en 1944, el Prof. Scheffer, invitado por el CSIC imparte varias conferencias sobre las formas de humus y su relación con la fertilidad del suelo. Por otra parte en 1943 el Prof. W. Kubiena, a su vez invitado por el Instituto de Edafología, visita nuestro país e imparte varias conferencias sobre Micromorfología de Suelos y formas de humus; participa también en diversas excursiones para enseñar su técnica de colecta de muestras con fines micromorfológicos, novedosa en aquella época, no sólo en nuestro país, sino en todos los de nuestro entorno. Fruto de esta estancia es la publicación de sus conferencias en Anales de Edafología y el acuerdo que se tomó para una posterior estancia en España, cosa que sucedió en 1949; también el Dr. Rodríguez Muñoz publica en Anales de Edafología un trabajo sobre "La investigación micromorfológica del Suelo" y otros sobre "Clasificaciones geológico-petrográficas".

El Prof. Albareda tuvo siempre dos preocupaciones una, la de abrir nuestro país al desarrollo científico en general y especialmente diríamos al mundo germano-anglosajon y otra, fue el de la coordinación de la investigación científica y técnica dentro de España. Para la consecución de este fin fue la creación del Consejo Superior de Investigaciones Científicas en 1939 y de los llamados Patronatos que lo hacían a nivel mas específico e inferior. En lo referente a las Ciencias de la Naturaleza y para su coordinación, creó el Patronato Alonso de Herrera en cuya Junta Directiva estaban representados todos los Organismos oficiales de varios Ministerios relacionados con las Ciencias Naturales. Por ello, mucho antes de la creación de la SECS, estas Ciencias de la Naturaleza en general y las del suelo en particular, estaban al menos oficialmente coordinadas al nivel del

Consejo Ejecutivo, superior, el del CSIC y otro, inferior, el del Patronato Alonso de Herrera.

La apertura al exterior de nuestro país se inicia en el periodo 1942-1947, en lo referente a la Ciencia del Suelo con las visitas de los Profesores Pallmann, Kubiena, Russell, Scheffer, Robinson, Edelman, Emeleus, Azzi, Braun-Blanquet, Huguet del Villar, Sousa da Cámara y Bramao. También las salidas al extranjero se multiplican en aquellos difíciles años, a título individual son muy numerosas, pero merece destacarse la que realizaron en equipo los Profesores Marcilla, Albareda y Sanz Ibañez en 1946, visitando los principales centros de investigación de suelos en Holanda, Dinamarca, Suecia e Inglaterra.

Por todo lo anteriormente expuesto, se deduce que en el momento de la creación de la SECS en 1947, los estudiosos del suelo en España estaban ya muy interrelacionados personal y administrativamente y promovieron rápidamente la incorporación de jóvenes universitarios e ingenieros, que al amparo de una política de becas, para aquellos años generosa en su número pero no así en su cuantía inicial fueron poco a poco nutriendo de personal los distintos centros de investigación y cátedras universitarias, (señalaremos que las becas iniciales en el año 1942 en el CSIC tenían una dotación de 250 pts. mensuales y lo mismo se puede decir de las ayudantías de cátedra en la Universidad, pero enseguida fueron mejorando).

El 7 de noviembre de 1947 se reúne por primera vez en sesión ordinaria la primera Junta de la SECS, bajo la presidencia del Prof. Albareda, que agradeció su designación para el cargo e inmediatamente y esto es muy significativo, se procede a planificar la labor futura de la Sociedad, como institución creada para coordinar y fomentar los trabajos relacionados con la Ciencia del Suelo y para representar a nuestro país en la Sociedad Internacional de la Ciencia del Suelo. La designación del Prof. Albareda para el cargo de presidente fue unánime por todos los socios ya que por el cargo que ostentaba, Secretario General del CSIC, juntamente con su personalidad científica, le hacían indiscutible para dirigir la labor de la naciente Sociedad. Una de las primeras decisiones que se tomaron y a propuesta del Prof. Tamés, fue la de dar normas precisas para la descripción de perfiles de suelos con el fin de conseguir una uniformidad en la descripción e identificación de los suelos españoles. Se acordó también que la SECS se pusiera en relación con lexicólogos de la Real Academia Española de la Lengua para uniformizar la escritura y ortografía de los nombres de los tipos de suelos, la mayoría de procedencia extranjera y también el Prof. Tamés propuso que se proyectaran trabajos para que fueran realizados en diversos laboratorios dedicados a investigaciones edafológicas. Vemos como la SECS se preocupó desde la primera sesión de trabajo, de abordar los graves problemas de nomenclatura en la designación de los suelos, por el confusionismo existente al adoptar nombres foráneos con distinto significado según países. También se acordó, en aquella primera sesión de trabajo, que las reuniones se celebraran " todos los primeros jueves de mes" y que en los mismos días, tras la reunión de la Junta, se celebraran sesiones científicas con intervención de todos los socios, para que en ellas se presentaran resúmenes de los trabajos en realización. Dichos resúmenes se publicarían en " Hojas informativas" que luego la Sociedad enviaría a todos sus socios; estas normas se cumplieron durante bastantes años.

En cuanto a los socios, había de dos clases, los socios de número que lo eran a título personal y pagaban una cuota de 25 pts. anuales, y los socios corporativos, que eran institucionales con una cuota de 150 pts. anuales. La SECS inicia sus tareas con gran dinamismo, la reuniones de la Junta Directiva se suceden sin demora, favorecidas éstas por que todos los vocales a excepción del Ing. J. Ricardo Abad, tenían su destino en Madrid por lo que no tenían problemas de desplazamiento. Es de destacar la presencia de prestigiosos botánicos como el Prof. Rivas Goday que desempeñó durante años la presidencia de la Sección 7ª, Ecología Vegetal; la labor de este profesor como socio de la SECS fue muy valiosa por su formación científica como botánico y fitosociólogo, aparte de

sus cualidades personales, permitió desde un principio estudiar y establecer las relaciones entre suelo y vegetación en el área mediterránea, colaborando poco mas tarde con el Prof. Kubiena en el establecimiento de la interdependencia de los suelos con el medio vegetal.

Otra de las primera actividades de la SECS fue la de promover, a través de la Oficina de Intercambio científico del CSIC, las relaciones internacionales con prestigiosos investigadores, así destacaremos que el primer investigador invitado por la SECS fue el Prof. E. Huguet del Villar que invitado también por el Instituto de Estudios Africanos, pronunció los días 26 y 27 de Febrero de 1948 dos conferencias, con el título "Tipos de suelos marroquíes de especial interés".

1949 es un año de intensa actividad de la SECS, las reuniones de la Juntas seguidas por las sesiones científicas se celebran con regularidad, se publican los boletines correspondientes, el número de socios crece paulativamente como consecuencia del incremento de los colaboradores de los Profesores Gutiérrez Ríos, Hoyos, Miravilles, Burriel, Aleixandre, Tamés, Nicolas Isasa y Albareda, se establecen relaciones internacionales a título personal e institucional, se modifica por primera vez el Reglamento y tiene lugar la primera renovación de la Junta que correspondió a la vicepresidencia y secciones impares. Efectuado el escrutinio quedaron reelegidos por unanimidad las personas que ocupaban dichos cargos; el número de votantes fue de 31. Se acordó también que las sesiones científicas se celebraran por orden rotatorio en la Escuela Superior de Ingenieros Agrónomos, de Montes, Instituto de Edafología, Instituto Nacional de Investigaciones Agronómicas, Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias, Facultades de Farmacia, Ciencias, Museo Nacional de Ciencias Naturales, Escuela Superior de Ingenieros de Caminos y Sociedad de Mecánica del Suelo, todos ellos eran socios corporativos. Por todo lo anterior, la primera reunión de la Junta de la SECS fuera de CSIC se celebró por invitación del Prof. Marcilla en la Escuela Superior de Ingenieros Agrónomos de Madrid, en el mes de mayo de 1950. Con anterioridad en el mes de abril y en los locales de Instituto de Edafología había tenido lugar una sección científica de la SECS con motivo de la estancia en España de los Profesores Robinson, Pallmann, Kubiena, Raistrick, Braun-Blanquet, Henin y Demolon, que fueron nombrados Socios de Honor. En dicha sesión todos ellos intervinieron para agradecer sus nombramientos y por otra parte el Prof. Botelho da Costa, del Instituto Superior de Agronomía de Lisboa, impartió una conferencia sobre "Clasificación y Cartografía de Suelos. Examen crítico del Sistema Americano".

Ese mismo año tuvo lugar en Amsterdam del IV Congreso de la ISSS en el que la participación española fue relativamente numerosa, asistieron los Prof. Albareda, Tamés, Vilas, Burriel, Aleixandre, Nicolas Isasa, Hoyos, Gutiérrez Ríos, Abad Botella, Grande Cobian, Alvira, que presentaron veinte comunicaciones. A su regreso la SECS celebró sesión científica para dar cuenta de las actividades y conclusiones del Congreso, tarea que realizaron los Prof. Albareda y Nicolas Isasa. Poco más tarde se producía el fallecimiento de uno de los promotores de la SECS, el Prof. Marcilla, Director de la Escuela Superior de Ingenieros Agrónomos de Madrid.

Acordado en el Congreso de Amsterdam que todas las naciones que tuvieran un mínimo de veinte socios en la ISSS estuvieran representadas en el Consejo de la misma y como España cumplía sobradamente dicho requisito, se acordó nombrar al Prof. Albareda representante español en dicho Consejo. Como el V Congreso de la ISSS iba a celebrarse en Leopoldville, Congo Belga, la presidencia de dicha sociedad recayó en el Prof. Tavernier, siendo nombrado poco más tarde socio de Honor de la SECS. También se produce la preceptiva renovación de la Junta Directiva que corresponde a los cargos de presidente y vocales de las secciones pares de la misma. El número de votantes fue 62 y tanto el presidente como los vocales fueron reelegidos casi por unanimidad. El mismo año se celebra las sesiones de la SECS en los locales de diferentes socios corporativos, con la asistencia de numerosos socios de la recientemente inaugurada Estación Experimental de Zaidin. 1952 se cierra, según informe del tesorero Sr. Ugarte con un saldo favorable de 5184,17 Pts.

En el boletín nº 1 de la ISSS correspondiente a 1952 aparecía como presidente de dicha sociedad el Prof. Tavernier, el past-presidente era el Prof. Edelman y secretario el Prof. Van Baren; solo había cinco representantes nacionales correspondientes a Bélgica, Holanda, España, Inglaterra, África del Sur y Estados Unidos de América. El comité lo constituían los Profs. de Leenheer, Zuur, Albareda, Van del Merwe, Russel y Page. Se constituyó un Comité de Suelos salinos bajo la Presidencia del Dr. Richards de Riverside. En dicho boletín aparece por primera vez la lista de los socios españoles, que era la más numerosa porque había entonces 32 socios.

Aunque no concernía directamente a la labor de la SECS, se publica en 1953 la obra del Prof. Kubiera, socio de la SECS y en aquel tiempo residente en España, que con el título "Los suelos de Europa" fue editada en inglés, alemán y español, alcanzando una gran difusión. Fue inicialmente escrita en alemán y en la traducción al castellano intervino directamente el Prof. Hoyos de Castro. Dicha publicación era el resultado, por todos conocido, de varios años de trabajo en España del Prof. Kubiena, contratado por el CSIC, y fue subvencionada totalmente por el servicio de publicaciones del CSIC en Madrid. En el boletín nº 4 de la ISSS aparece una escueta referencia a dicha importante publicación, silenciando la aportación española en la misma, como reconoce su autor en el "Prefacio" de su obra.

En 1954 se establecen relaciones entre la SECS y el INQUA, nombrándose al Prof. Albareda representante en la misma. Esta relación se vería en lo sucesivo intensificada y destacados miembros de la SECS, el Prof. Monturiol es un ejemplo, siguieron colaborando con el INQUA y ocuparon cargos, la Presidencia entre otros, del grupo español para el estudio del Cuaternario. 1953 termina, según las cuentas del Sr. Ugarte con unos ingresos de 3275 pts. y unos gastos de 647,84 pts. arrojando un saldo favorable de 7811,33 pts.

El V Congreso de la ISSS se celebra, como estaba previsto, en Leopoldville, con una escasa representación de la SECS pues solo asistieron los Profs. Albareda, Vilas y Kubiena, que presentaron seis comunicaciones.

La SECS sigue desarrollándose en cuanto al número de socios se refiere, en ella se integran numerosos investigadores procedentes de diversos Organismos de Madrid y por la sucesiva creación, por parte del CSIC, de diversos Centros como los de Edafología, Cortijo del Cuarto de Sevilla, Santiago de Compostela, Murcia, Salamanca, Badajoz, Tenerife, Barcelona y Almería. También las reuniones de la sociedad se desarrollan normalmente, se publican los resúmenes de los trabajos en "Hojas informativas" y se celebran dichas reuniones en la sede de distintos socios corporativos de Madrid. A primeros de 1956 se anuncia el VI Congreso de la ISSS con sede en París y se renueva la Junta de Gobierno en los cargos de presidente, tesorero y secciones pares. Realizado el escrutinio de las 68 votos emitidos, quedaron nombrados los siguientes miembros: Para el cargo de presidente D. Cayetano Tomás; presidente de Honor, D. José M^a Albareda; tesorero, D. Nicolas Isasa; bibliotecario, D. Gaspar González; vocal de la sección 2^a, Doña Narcisa Martín Retortillo; vocal de la sección 4^a, D. Valentin Hernando; vocal de la sección 6^a, D. Julio Jordana de Pozas. Poco más tarde al haber quedado vacante el cargo de vicepresidente se propuso la candidatura de D. Vicente Alexandre; que fue aceptado por unanimidad. También se propuso al Prof. Nicolas Isasa como miembro de comité de nomenclatura de la ISSS.

En esta fecha y a propuesta del Prof. Albareda se consideró la creación de los "Grupos de Trabajo" dentro de la SECS; la primera propuesta fue la de los Minerales de la arcilla nombrándose a D. Vicente Aleixandre encargado del mismo.

El VI Congreso de la ISSS se celebra en París con una nutrida representación española; el Prof. Albareda fue nombrado Presidente de Honor de la ISSS y el Prof. Aleixandre, vicepresidente de la sección VII y poco después el Prof. Hoyos sustituye al Prof. Nicolas Isasa en la comisión de

vocabulario de la ISSS.

Las sesiones de la SECS se van a espaciar cada vez más, en 1959 se reúne una sola vez en noviembre y en el Instituto de Edafología. Sin duda, la renuncia del Prof. Albareda a su cátedra de la Facultad de Farmacia y su incorporación al Claustro de la Universidad de Navarra, enseguida fue Rector en 1960, no le permitían catalizar dichas reuniones como lo venía haciendo hasta entonces y la SECS se reúne una vez para la preceptiva renovación de los cargos y proponer una candidatura oficial para la vicepresidencia y vocales de las secciones pares. Dicha candidatura estaba constituida de la siguiente manera: secretario, D. Tomás Alvira; vocales de las secciones 1º D. José Mª Serratos; sección IIIª D. Alberto Sols; sección Vª D. Gabriel Baquero; sección VII D. Luis Ceballos. Se acordó que la próxima reunión se celebraría el 17 de diciembre de 1959 en el Instituto Nacional de Colonización, cosa que no llegó a suceder. No existen referencias en actas de la ratificación de estos cargos.

El VII Congreso de la ISSS se celebra en Madison bajo la Presidencia del Prof. Bradfield, la participación española fue relativamente numerosa y estuvo dirigida por el Prof. Albareda. El Prof. González García fue nombrado vicepresidente de la sección VII y el Congreso transcurrió bajo el fuerte impacto de la presentación por el Dr. Kellog y sus colaboradores el Dr. Guy Smith y el Prof. Tavernier, entre otros, de lo que inicialmente se llamó "Soil Classification, a comprehensive system, 7th approximation"; que suponía la mayor aportación al desarrollo de la ciencia del suelo y un medio de intercomunicación entre los edafólogos de todos países.

En diciembre de 1960 se celebra una Junta de la SECS en el Museo Nacional de Ciencias Naturales, a ella asisten los Profs. Albareda, Tamés, Nicolás Isasa, Aleixandre, Pérez Mateos y Alvira; no consta que se tomaran acuerdos. Seguidamente en sesión científica que fue muy nutrida, el Prof. Aleixandre expuso el desarrollo del Congreso de Madison y seguidamente el Prof. Hoyos de Castro disertó sobre "La nueva clasificación americana de suelos".

Hasta enero de 1962 no vuelve a reunirse la Junta de la SECS y lo hace en el Instituto de Edafología para presentar una candidatura para la renovación de la Junta, en los cargos de presidente, tesorero, bibliotecario y vocales de las secciones pares. La candidatura orientativa, que luego se ratificó en mayo del mismo año fue la siguiente: presidente D. Vicente Aleixandre; tesorero Doña S. Pérez Mateos; bibliotecario D. Jesús Aguirre; vocal sección II D. Ángel Hoyos; vocal de la sección IV D. Luis Jimeno y vocal de la sección VI D. Carlos Roquero. Como quedó vacante el cargo de vicepresidente, se propuso a D. Nicolás Isasa. El secretario D. Tomás Alvira presentó la dimisión y se propuso unánimemente para el cargo a D. José García Vicente. También por unanimidad se nombró a D. Cayetano Tamés Alarcón, presidente de Honor. Se acordó que las Reuniones científicas se celebraran cada tres meses y que las secciones y grupos de trabajo se pudieran reunir separadamente y con Asociaciones afines, como así ocurrió.

En 1964 tiene lugar el VIII Congreso de la ISSS con sede en Bucarest; asisten al mismo ocho delegados españoles que constituyeron una muy escasa representación en relación con los importantes problemas que se debatieron en el mismo. Uno de ellos fue la presentación provisional de los Mapas Nacionales de Suelos para el Mapa Mundial que según se aprobó en el Congreso de Madison, publicaría la FAO. Se debatieron los problemas sobre clasificación de suelos y Leyenda provisional del Mapa; el de España se presentó en forma de "Poster" y el Prof. Roquero fue nombrado vicepresidente de la Sección VI del ISSS. Como la SECS tenía entonces 104 socios, tenía sobrada representación en la Junta de la ISSS y en una reunión durante el Congreso se propuso la celebración en nuestro país de lo que se denominó "Conferencia de Suelos Mediterráneos" durante el mes de septiembre de 1966, con una excursión Madrid - Granada - Sevilla - Lisboa; esta propuesta fue aceptada por unanimidad; La ISSS la anunció en el boletín N° 26. En octubre se

celebra una reunión de la SECS para dar cuenta de los resultados del Congreso de Bucarest a cargo del Prof. Hoyos. Seguidamente el Dr. Guerra expuso la excursión pre-congreso Moscú-Mamaia y el Dr. Roquero a continuación disertó sobre la excursión post-congreso que tuvo lugar en Rumania.

La organización de la "Conferencia de Suelos Mediterráneos" tuvo desde su inicio el apoyo incondicional por parte del CSIC, en cuyos locales iba a celebrarse, tanto la sesión inaugural como las sesiones de trabajo y en lo concerniente a la preparación de la excursión se nombró una comisión compuesta por personal del CSIC y del Mapa Agronómico Nacional; se editó una detallada "Gufa" de la excursión.

El 27 de febrero de 1966 se produce el inesperado fallecimiento de D. José María Albareda Herrera, primer presidente de la SECS y Presidente de Honor de la misma. Su fallecimiento produce estupor y desánimo entre los socios de nuestra Sociedad y justo es de reconocer que la Junta Directiva en pleno, estimó que el mejor homenaje que se podía ofrecer a D. José María era la culminación de dicho acontecimiento internacional. Efectivamente la "Conferencia de Suelos Mediterráneos" tuvo lugar en las fechas previstas, en la sesión inaugural el Prof. Aubert glosó emocionadamente la figura del Prof. Albareda, las sesiones científicas se celebraron con pleno éxito, así como la excursión post-congreso en la que la participación extranjera fue muy numerosa. La ISSS dio cuenta de la celebración de dicha "Conferencia", destacando el éxito de la misma en su boletín nº 29 pero, como ya nos tenía acostumbrados su Secretario General, indica como "pequeña objeción" que en las sesiones científicas no hubo traducción simultánea entre inglés-francés. Debemos destacar que en la presentación de los perfiles en el campo y en las discusiones de los mismos hubo traductores al inglés, francés y alemán y que estas traducciones fueron realizadas, para mejor entendimiento, por edafólogos españoles. Los numerosos trabajos que se presentaron en esta reunión fueron publicados inmediatamente por la SECS y en breve se agotaron, lo que demuestra el éxito de la misma.

En febrero de 1968 reunida en asamblea la SECS se elige una nueva Junta Directiva constituida por: presidente D. Antonio Nicolás Isasa; vicepresidente D. Ángel Hoyos de Castro; secretario D. José García Vicente y tesorero D. Jesús Galván. Los miembros de las distintas secciones aparecen por primera vez con los cargos de presidente y secretario respectivamente. Ese mismo año se celebra en Adelaida (Australia), el IX Congreso de la ISSS con una escasa representación española, pues sólo acuden cuatro socios que participaron en las excursiones pre-congreso y principalmente en las sesiones de preparación de la Leyenda definitiva del Mapa Mundial de Suelos que editaría FAO. El 28 de octubre del mismo año tiene lugar una Asamblea de la SECS para dar cuenta por parte de los asistentes al Congreso de Adelaida de las conclusiones y acuerdos que se tomaron en el mismo. Es de notar que por primera vez el número de socios disminuye porque pasa de 104 en 1966 a 79 en 1968.

Hay pocos acontecimientos a resaltar en las actividades de la SECS hasta el año 1972 en el que se inicia una nueva actividad, que inicialmente comenzó con independencia de la SECS, pero que posteriormente se desarrolló bajo un patrocinio. Nos referimos a lo que después se denominaron Reuniones Nacionales de Suelos, que tuvo su origen por la iniciativa del Prof. Jaime Iñiguez, catedrático de Edafología de la Universidad de Navarra, que en otoño de 1972 organizó una excursión para mostrar los suelos del Pirineo navarro y de la Sierra de Urbasa. En dicha excursión se mostraron, entre otros, suelos de la Cuenca de Pamplona, suelos con caracteres ándicos del Pirineo y suelos podsol ferrico-húmico de la Sierra de Urbasa bajo antigua vegetación de "fagus silvática". Los asistentes, todos socios de la SECS eran investigadores y profesores, tanto del CSIC como de diversas universidades. El éxito de dicha reunión fue extraordinario y poco más tarde se

celebraba en Santiago de Compostela lo que se denominó I Reunión Nacional de Suelos del NE de España, en homenaje al Prof. M. Muñoz Taboadela y que fue organizada por el Centro de Edafología del CSIC y el Departamento de Edafología de la Facultad de Farmacia de la Universidad. Debemos señalar la perfecta organización y esfuerzo realizado por el equipo del Prof. Guitián para mostrar la variabilidad de suelos del NW de España a un tan numeroso grupo de edafólogos que animados por el Prof. Hoyos, entonces vicepresidente de la SECS, tomaron parte activa en las discusiones sobre el terreno. Pasaremos por alto en lo sucesivo la temática específica de dichas Reuniones Nacionales porque no es el tema de este trabajo, aunque los asistentes todavía recordamos con nostalgia los perfiles de Podzoles enterrados y otros con horizontes de "orstein". Señalaremos no obstante que en esta reunión chocaron los criterios para la descripción y clasificación de los suelos, según la que tradicionalmente se venía utilizando en España, escuela centro-europea de Kubiena-Mückenhausen, adaptada a los suelos españoles y la de la clasificación americana presentada en el congreso de Madison. El carácter pragmático, innovador y paramétrico de ésta última prevaleció en lo sucesivo sobre la primera e hizo que los edafólogos españoles cometiéramos el error de renunciar a alcanzar una clasificación propia que hubiera sido de fácil comprensión para los estudiosos de otras áreas de conocimiento relacionadas con la ciencia del suelo. Todo ello no hubiera impedido establecer las correlaciones pertinentes con la Soil Taxonomy y con el sistema FAO, como lo hacen los países de nuestro entorno, tal es el caso de Portugal, Francia e Italia. Creemos que dicho error es una de las causas de la escasa personalidad académica que tiene hoy la Edafología en España y del intrusismo que padece por muchos, que sin conocer sus fundamentos científicos, pretenden enseñarla y aplicarla.

En 1974 el Prof. Hoyos, vicepresidente de la SECS, es nombrado vicepresidente de la Comisión IV de la ISSS, nombramiento que recoge el Boletín nº 46 de dicha Sociedad, que publica la lista de los 85 socios españoles. Ese año se celebra en Salamanca la III Reunión Nacional de Suelos, y al año siguiente la IV Reunión se celebra en Canarias donde se mostraron entre otros tipos de suelos, los Andosoles canarios, novedad para muchos edafólogos españoles. Ambas reuniones se desarrollaron con pleno éxito merced al esfuerzo de sus organizadores dirigidos por los Profs. A. García Rodríguez y E. Fernández Caldas.

1976 es un año de relativa escasa actividad de la SECS, tanto es así, que por indicación del Prof. Hoyos hubo que improvisar unas semanas antes y por la sección de suelos del Instituto de Edafología de Madrid, la V Reunión Nacional de Suelos que se celebró en Badajoz. Todos los años se celebraron Asambleas en los meses de Enero-Febrero en Madrid, con excursiones cortas y en septiembre las Reuniones Nacionales durante las cuales se celebran también reuniones de la SECS. En 1977 la VI Reunión Nacional tiene lugar en Castellón, con exposición de los suelos de dicha provincia por el Prof. R. Jiménez Ballesta. En esta ocasión colabora también el Prof. C. Roquero y personal investigador del INIA.

Después de un breve paréntesis en el libro de Actas de la Sociedad, el 27 de febrero de 1978 se renuevan todos los cargos de la SECS y el 10 de marzo se constituye la nueva Junta bajo la Presidencia del Prof. A. Hoyos nombrándose una nueva comisión para la modificación de los estatutos. Con la nueva Junta se inicia un nuevo periodo en la vida de la SECS sucediéndose las asambleas y las Reuniones Nacionales de Suelos, según programa establecido. También se publican periódicamente los Boletines informativos, y se aprueban las Delegaciones provinciales y las Comisiones y Grupos de Trabajo para temas específicos. La labor de estas Comisiones y Grupos de Trabajo se pueden considerar como muy satisfactoria destacando las de la sección V, Humus, Mineralogía de Suelos, Métodos analíticos, Suelos afectados por sales....etc.; las reuniones se convocan independientemente o con ocasión de las Reuniones Nacionales.

La VII y VIII Reuniones Nacionales de Suelos tienen lugar en Sevilla (Centro de Edafología del Cortijo de Cuarto) y Zaragoza (Aula Dei), con notable éxito para los organizadores. Destacamos también la reunión de la Comisión VII, celebrada en Murcia y organizada por el CEBAS y la Facultad de Ciencias de la Universidad de Murcia, con presentación de diversas ponencias, acordándose que la próxima reunión tendría lugar en Pamplona con temas específicos de gran interés.

En el Boletín informativo de noviembre 1979 aparece la composición de la Junta Directiva de la SECS que según el art. 39 de la Disposición transitoria de los Estatutos todos debían quedar vacantes para ser renovados en 1980. En este año 1979 se produce el fallecimiento del Prof. Cayetano Tamés Alarcón, segundo presidente de la SECS y socio fundador de la misma.

En febrero de 1980 son confirmados en sus cargos el presidente Prof. A. Hoyos; vicepresidente Prof. C. Roquero; secretario D. E. Dorado y tesorero D. J. A. Ortiz. En este año se celebra en Pamplona la reunión de la Comisión VII y en septiembre la IX Reunión Nacional de Suelos tiene lugar en Granada que transcurre con una magnífica organización. Siguen sucediéndose las actividades de la SECS con Asambleas en enero-febrero, seguidas de excursiones por los alrededores de Madrid y las correspondientes en septiembre con Reuniones de Suelos y Sesiones científicas, independientemente de las actividades de las Comisiones y Grupos de Trabajo.

En cuanto a las relaciones internacionales, el Boletín 57 de la ISSS, da cuenta de la constitución de la nueva Junta Directiva de la SECS, de sus actividades y de la relación de los 250 socios que la componen. En febrero de 1982 son reelegidos en sus cargos el presidente y el tesorero y se nombran presidentes de las secciones impares y secretarios de las pares. Con anterioridad se había celebrado en 1981 la X Reunión Nacional de Suelos en Santiago de Compostela y en 1982 la XI Reunión Nacional tuvo lugar en Barcelona; ambas con una perfecta organización a las que asistieron gran número de socios. En 1983 la XII Reunión Nacional de Suelos se celebra en Santander organizada por el Instituto de Edafología y Biología Vegetal de Madrid bajo la dirección del Prof. Monturiol.

1984 es un año muy trascendente para la SECS ya que en julio se celebra en Canarias el Panel Internacional de suelos Volcánicos, auspiciado por la ICOMAND y organizado por el Departamento de Edafología de la Universidad de La Laguna. Esta reunión tuvo un notable éxito internacional, reconocido por la ISSS en uno de sus boletines, a la que asistieron gran número de edafólogos nacionales y extranjeros. Casi de forma simultánea se celebra en Madrid con notable éxito, el I Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, seguido de una excursión Madrid-Toledo-Guadalupe-Madrid. A este congreso fue invitado el Prof. Sombroek, Secretario General de la ISSS y la conferencia inaugural la desarrolló el Prof. González García, con el título "Pasado, presente y futuro de la Edafología en España".

En 1985 la XIII Reunión Nacional de Suelos se celebra en Salamanca que como siempre, transcurrió con pleno éxito de organización y de asistentes. La responsabilidad de dicha reunión corrió a cargo de los Profs. A. García Rodríguez y C. Dorronsoro.

En 1986 se produce el preceptivo cese del presidente de la SECS, Prof. A. Hoyos, pasando el vicepresidente Prof. Roquero, por elección a ocupar el cargo de presidente y el Prof. Guerra obtiene el cargo de vicepresidente. Después de la Asamblea a últimos de enero se celebra una excursión, a cargo del Prof. R. Jiménez Ballesta para estudiar procesos paleoedáficos en el Valle del Tajo. El Prof. A. Hoyos es nombrado Presidente Honorario de la Sociedad.

La SECS toma parte muy activa en el Congreso de la ISSS que se celebró en Hamburgo, donde se presentó conjuntamente el Mapa de Suelos de la CEE; es este Congreso la Dra. Carballas fue elegida vicepresidenta de la II Comisión de la ISSS. En este año la XIV Reunión Nacional de Suelos

se celebró en Murcia y fue organizada por los equipos de investigación de los Profs. Alias y Ortiz de la Universidad de Murcia con la colaboración de personal investigador del CEBAS.

La elaboración de los planes de estudio en las Universidades españolas ha sido y es, motivo de preocupación de la SECS, por la trascendencia que tienen para los edafólogos españoles y para nuestro país en general. Por ello, la SECS en colaboración con el Instituto de Edafología de Madrid, organizó en 1987 unas jornadas sobre "Edafología-Universidad", que se desarrolló mediante una serie de Ponencias a cargo de especialistas en los diversos temas programados; desafortunadamente no se publicaron las Ponencias, con lo que la efectividad de las jornadas fue menor del que se había propuesto.

En julio de 1987 se produce el fallecimiento del Prof. A. Hoyos de Castro; se celebraron diversos actos en su honor tanto durante la XV Reunión Nacional de Suelos que tuvo lugar en Valencia, organizada bajo la dirección del Prof. J. Sánchez Díaz y posteriormente tuvieron lugar otros actos en su honor en el Instituto de Edafología de Madrid. En otoño del mismo año fallece el Prof. A. García Rodríguez, Director del Centro de Edafología de Salamanca, que siempre se distinguió por su personalidad científica, amistad, dedicación y entrega en la resolución de los problemas edafológicos en Castilla y León; perdimos un entrañable amigo.

En 1988 se celebran elecciones por el cese preceptivo del Dr. Dorado, siendo elegido para dicho cargo de secretario general, el Prof. R. Jiménez Ballesta catedrático de Edafología de la UAM. La Asamblea general se celebra en Sevilla con ocasión de II Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, que tuvo un éxito extraordinario, la conferencia inaugural corrió a cargo del Prof. O. Carpena Artes y en el mismo se desarrollaron diversas "mesas redondas" y sesiones científicas, sesiones de "Poster", sesiones hispano-americanas y excursiones, la principal a la Sierra de Grazalema. La organización fue perfecta y corrió a cargo del personal investigador del Centro de Recursos Naturales de Sevilla del CSIC y de la Universidad de Sevilla. La SECS hizo constar en Acta la felicitación al Dr. Mudarra, secretario del mismo, por el éxito del Congreso.

En 1989 la SECS, contaba entonces, con 400 socios, celebra la XVI Reunión Nacional en Lérida, organizada por la Universidad Politécnica de Lérida y en la que, a propuesta del Prof. Porta, se presentaron trabajos sobre temas monográficos; se aprobaron también las normas sobre la concesión de los premios Hoyos de Castro, Albareda y Huguet del Villar.

Asunto importante fue la incorporación de la SECS a la Sociedad Latino-Americana de la Ciencia del Suelo, como socio con pleno derecho y también el ofrecimiento por parte española en el Congreso de dicha Sociedad celebrado en Cuba, para que el próximo congreso se celebrase en Salamanca. Dicha propuesta fue hecha por el Prof. Gallardo Lancho. Se constituyó un comité organizador de dicho Congreso, bajo la dirección del Dr. Gallardo Lancho y se aprobó que la inauguración se realizaría en Sevilla, con una posterior excursión Sevilla-Salamanca donde transcurriría el congreso.

La XVII Reunión Nacional de Suelos se celebró en Badajoz, organizada por el Departamento de Edafología de la Facultad de Ciencias bajo la Dirección del Prof. A. García Navarro; la conferencia inaugural la impartió el Prof. A. Guerra y versó sobre la naturaleza e investigación de los horizontes de Duripan (Tepetates) en Hispanoamérica.

En enero de 1992 se celebran nuevas elecciones para los cargos de vicepresidente, secretario, presidentes de las secciones pares y secretarios de las secciones impares. D. Luis Alcalá del Olmo es elegido secretario general y el Prof. A. Guerra confirmado en la vicepresidencia. Se informa sobre los preparativos del III Congreso Nacional de Suelos a celebrar en Pamplona; también se acuerda la organización del Simposium sobre la Raña, que se celebraría en septiembre del mismo año y sobre la organización del XII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo que sería inaugurado en Sevilla el 30 de septiembre de 1993.

Como estaba previsto, se celebra en Pamplona el III Congreso Nacional de la SECS, organizado por la Universidad de Navarra bajo la Dirección del Prof. J. Iñiguez. Independientemente de la presentación y discusión de los numerosos trabajos, el Dr. Rubio, vicepresidente de la Sociedad Internacional de Conservación de Suelos, creada en 1988, resaltó la importancia para España y para la SECS su vinculación con la misma. También se discutió el tema de la contribución de España a la "European Communities Soil and GIS Support Group", resaltando la importancia y proyección internacional del proyecto que implicaría una revisión del Mapa de Suelos de España publicado en 1968 y que sería subvencionado por la CEE.

En 1993 la SECS es invitada a colaborar y formar parte del Grupo de Trabajo de Cartografía Edafológica y Sistemas de Información Geográfica, constituido al amparo del CSIC. En Septiembre de este año se celebra en Sevilla-Salamanca el XII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo, que se desarrolla con una perfecta organización. Es de resaltar la generosa política de ayudas y becas a socios latinoamericanos que propició el Dr. J. Gallardo Llancho, la publicación de los trabajos con la colaboración del Ministerio de Agricultura y la aportación de la Universidad de Salamanca y de las Autoridades de Castilla y León por las facilidades para la celebración del Congreso. Nota sobresaliente fue la aprobación por parte de la SECS de la publicación de la revista Edafología como órgano de difusión del desarrollo de la Edafología en España.

En 1994 se celebra el XV Congreso de la ISSS con sede en Acapulco (México), con amplia participación española. La presidencia de la SECS la ostenta en esta ocasión el Prof. J. Aguilar Ruiz pues en la votación para el cargo de presidente fue elegido por gran mayoría de votos; El Prof. C. Roquero de Laburu cesó en su cargo por agotar el preceptivo periodo, según el Reglamento, después de una dilatada y magnífica gestión al frente de nuestra Sociedad. Este año el Prof. Roquero organiza una excursión por Castilla-La Mancha que tuvo notable éxito de asistentes. La Profra. C. Fernández Bermejo ocupó el cargo de tesorera de la Sociedad. Más tarde se celebra en Valencia organizado por el Prof. Batlle el Simposium Internacional de Suelos afectados por sales auspiciado por la ISSS.

En 1995 tiene lugar en Canarias el "Meeting" de la Sociedad Europea de Conservación de Suelos, de la que es vicepresidente el Dr. Rubio. Este año la XX Reunión Nacional de Suelos se celebra en Madrid organizada por el Departamento de Edafología de la Facultad de Farmacia, bajo la dirección de la Profra. J. González Parra, con motivo del 150 aniversario de la Facultad. La conferencia inaugural corre a cargo del Prof. Guerra que glosó la figura de E. Huguet del Villar. La excursión se desarrolló en la Sierra de Gredos, con sede en Arenas de San Pedro.

En 1996 se celebran nuevas elecciones cesando en su cargo, por haber agotado el preceptivo periodo, el Prof. Guerra, siendo elegido el Prof. J. M. Gandullo nuevo vicepresidente de la Sociedad. Este año, organizado por la Universidad Politécnica de Lleida y bajo la dirección del Prof. J. Porta, tiene lugar el Simposium Internacional de Suelos Yesíferos y el IV Congreso Nacional de la SECS. Se acordó por parte de los organizadores, que los trabajos presentados al Congreso fueran publicados en un número especial de la revista Edafología.

El balance final de la labor de la SECS es altamente positivo, podríamos preguntarnos que hubiera sido de la Edafología en España sin la existencia de nuestra Sociedad y la respuesta sería incierta y variable. La labor de las sociedades nacionales en los países de nuestro nivel de desarrollo, ha sido preponderante, pero en España lo es todavía más, porque los estudiosos del suelo están muy diseminados entre los organismos del Ministerio de Agricultura, Consejo Superior de Investigaciones y Universidades, lo que dificulta su coordinación y desarrollo, por lo que el papel de la SECS ha sido y será fundamental. Por ello es de justicia reconocer la labor de los sucesivos

presidentes, vicepresidentes, secretarios, tesoreros y demás miembros de las secciones, que a lo largo de los 50 años de su existencia, han sacrificado su tiempo en aras del desarrollo y coordinación de la Ciencia del Suelo. También es de destacar el apoyo económico y administrativo del Consejo Superior de Investigaciones Científicas y en especial de los Centros del Instituto Nacional José María Albareda por proporcionar la sede de nuestra Sociedad, facilidades máximas para las reuniones de nuestra Junta y de las Asambleas, Congresos y Reuniones de los Grupos de Trabajo y Subcomisiones, sin olvidar el apoyo de los departamentos de Edafología de tantas universidades españolas.

La celebración de las Reuniones Nacionales de Suelos, tras la feliz iniciativa del Prof. J. Iñiguez a la que se sumó inmediatamente el Prof. F. Guitian, ha sido el mejor de los caminos para la pujanza de la SECS. Estas reuniones, deben continuar, porque la experiencia nos ha enseñado su gran utilidad que no pueden cumplir los Congresos Nacionales de Suelos celebrados cada 4 años. La labor de las secciones, según el ordenamiento de la ISSS, ha sido algo irregular, pero es justo señalar que han funcionado satisfactoriamente los Grupos de Trabajo y Subcomisiones que complementan su rendimiento; hoy se tiende en la ISSS, a desarrollar y celebrar este tipo de reuniones que de las secciones, al ser éstas excesivamente amplias; el caso de nuestro país es un buen ejemplo.

La aprobación por parte del MOPMA del Plan de Cartografía temática Ambiental 1/50.000 y el nombramiento del Dr. Mario Nieves y del Prof. Juan Sánchez Díaz como Asesores del mismo, lo consideramos como un hecho trascendente que garantiza el porvenir de la calidad de los trabajos de Clasificación y Cartografía de Suelos en España. Por otra parte, la regulación en su publicación y el prestigio de la nueva revista "Edafología", que con tanto entusiasmo apoya nuestro actual presidente, el Prof. José Aguilar, supondrá una vía de extensión y divulgación de la Ciencia del Suelo tanto en España como en la América Hispana. No dudamos del éxito y de la continuidad de la SECS y hacemos votos para que el esfuerzo de todos los socios sea digno de los sacrificios de los que nos precedieron.

Madrid, Marzo de 1997.

APUNTES HISTORICOS SOBRE LA EDAFOLOGIA ESPAÑOLA EL PERIODO ANTERIOR A LA GUERRA CIVIL

FRANCISCO DIAZ-FIERROS VIQUEIRA

INTRODUCCION

Este trabajo no pretende ser una análisis riguroso y exhaustivo de la historia de la Edafología española, si no más bien, el de plantear solo unas reflexiones sobre los antecedentes históricos que pueden justificar alguno de los rasgos característicos de su realidad actual. Es un trabajo escrito también, desde el aquí y el ahora, y por lo tanto bajo la tensión de poder encontrar una salida esperanzada a la encrucijada en la que se encuentran en la actualidad los estudios del suelo en España.

Esta reflexión podría remontarse a los tiempos de Alonso de Herrera donde se manifiesta ya una clara formalización en los conocimientos de los suelos españoles o iniciarla con ese periodo de renovación general de la ciencia española que fueron los tiempos de la ilustración, sin embargo creemos que es suficiente analizar el periodo que abarca desde la mitad del XIX hasta el principio de la Guerra Civil. En él se sitúa la tradición que está más directamente vinculada a nosotros, y así, las instituciones y las profesiones a las que pertenecemos, de alguna forma se configuraron tal como hoy las conocemos, en ese período. Y será sobre todo el periodo 1885-1936 al que le dedicaremos una mayor atención ya que son esos cincuenta años que Tuñón de Lara(1) definió como “los años en los que España entró en la contemporaneidad, su historia se protagonizó de manera mas amplia y colectiva; se multiplicó la búsqueda de respuesta a una problemática distinta a la tradicional; el intelectual fué estableciendo mayores vínculos con la sociedad”.

APORTACIONES DESDE LA GEOLOGIA

Igual que sucedió con la Edafología europea, en España una de las primeras aproximaciones científicas al concepto de suelo vino del campo de la Geología. De acuerdo con los conceptos admitidos por los geólogos de la época, el suelo era fundamentalmente un producto de alteración de la roca, por lo que el material subyacente era su variante fundamental. De todas formas al considerar que existen distintos procesos de alteración según los diferentes climas, se introdujo un segundo factor determinante de las propiedades del suelo, y con ello se realizó una aproximación mayor ya a la visión “sintética” de Dokuchaiev. Con el avance y consolidación en España a lo largo del XIX de otras disciplinas geológicas (paleontología, mineralogía, tectónica, geodinámica, etc.) la consideración del suelo como objeto de estudio de los geólogos pierde importancia, y así, en el Congreso Geológico Internacional celebrado en España en 1931 los estudios sobre el suelo habían desaparecido totalmente.

De todas formas cabría señalar en la segunda mitad del siglo XIX los trabajos de Juan Vilanova y Pira (1821-1893), catedrático de Geología y Paleontología de la Universidad de Madrid, que escribió en 1860 una "Geología aplicada a la Agricultura y la Industria", que alcanzó gran popularidad y difusión en España. Era una obra donde se sintetizaban los conocimientos de la época sobre estos temas. Más importante y personal, fué sin duda su "Geología Agrícola", que publicó en 1879. En ella, el suelo, aparece ya como el resultado de la acción de los diferentes climas sobre los distintos materiales geológicos, aportando algunos análisis originales sobre los suelos españoles. La fertilidad química del suelo se plantea ya a partir de las ideas de Liebig, dándole sin embargo una importancia singular a las propiedades físicas del suelo, que interpreta a partir de las teorías de los agrónomos franceses.

De todas formas convendría destacar como el hecho más importante ligado a esta figura, el proyecto aprobado por la Junta General Estadística, para realizar un inventario de los suelos de España con interés catastral. (Convendría recordar que los trascendentes trabajos de Dokuchaiev sobre el chernosem ruso tuvieron también una motivación catastral). La revolución española de 1868 frustró el proyecto quedando sin embargo como ejemplo de lo que pudo haber sido, el mapa de suelos de los alrededores de Madrid, que es posiblemente el primer mapa de suelos españoles realizado con criterios científicos.

APORTACIONES DESDE LA QUIMICA.

Sin duda, otra de las grandes disciplinas clásicas desde donde se realizaron aportaciones fundamentales al conocimiento del suelo. En el siglo XIX habría que señalar como aspecto mas singular la aparición de las teorías de Liebig sobre la fertilidad química del suelo, que sirvieron para fundamentar científicamente la práctica del abonado mineral, que fué uno de los factores fundamentales de la revolución agrícola del último cuarto de siglo.

Por otro lado, los grandes avances que se dieron, tanto conceptual como instrumentalmente en el campo del análisis químico, extendieron su aplicación a todo tipo de materiales, entre los que se incluían obviamente, los suelos y los abonos.

De todas formas los hechos que tuvieron, quizá, una mayor transcendencia para los edafólogos españoles fueron las aportaciones de la coloidoquímica. La química de superficies fué sin duda uno de los grandes temas punteros en la investigación química de las primeras décadas del siglo XX. Bastaría con señalar que fueron Nobel de Química por sus estudios en el campo de los coloides, Zsigmondi (1925) Svedberg (1926), y Langmuir (1932).

En España De Gregorio Rocasolano, A. (1873-1941) realizó importantes estudios sobre química coloidal, destacando de los mismos los realizados sobre el movimiento browniano, que fueron por otro lado los únicos trabajos de un científico español que merecieron el interés de Einstein durante su visita a España en 1923 (2). En su laboratorio de Investigaciones Bioquímicas de Zaragoza, se estudiaron temas con una clara orientación agronómica, como fueron los realizados sobre la catálisis bioquímica del nitrógeno.

Desde nuestro punto de vista de edafólogos, es de señalar, que en esta escuela de química coloidal se formó Albareda, que en 1925 comenzaba su especialización en Físico Química de suelos agrícolas con Wiegner en Zurich, y más tarde con Russell en Rothamsted. A su vuelta del extranjero tuvo la primera ocasión de exponer sus ideas sobre el suelo en un curso de Ciencia del Suelo organizado en Madrid por la Fundación Cartagena y promovido por la Real Academia de Ciencias. Más tarde, en plena contienda civil (1938), lo impartiría en Zaragoza, ampliándolo con

clases prácticas. Finalmente, estas ideas fueron condensadas en su libro "El Suelo" (1940). En él, el suelo se presentaba básicamente como una roca que se altera por la "erosión" del clima y los organismos. Distinguiéndose el suelo de los otros cuerpos naturales, por una serie de propiedades específicas, entre las que, las superficiales eran las más importantes. En él se realiza una formulación clara y rigurosa de una visión "analítica" del suelo a partir de principios extraídos básicamente de la Físico-Química.

APORTACIONES DESDE LA SILVICULTURA Y AGRICULTURA

La primera escuela de Ingenieros Forestales se crea en 1848 en Villaviciosa de Odón por Agustín Pascual y Torres Rojas. Estaba intelectualmente vinculada a la tradición forestal alemana, donde las ideas de Humdboldt sobre el equilibrio e interacción de los diferentes elementos naturales, era doctrina obligada. Esta visión armónica e integrada de la naturaleza se transmitió a la interpretación que se le daba al bosque, y así se asumía de forma inequívoca la necesidad del uso múltiple del bosque. Dentro de esta visión, el suelo era un elemento clave, que se debía proteger con medidas conservadoras que actuaban tanto sobre las masas forestales como las aguas superficiales. Al mismo tiempo la fertilidad del suelo se hacía depender tanto de la formación del humus como del reciclado de nutrientes por el árbol.

El interés que demostraron los forestales en esta primera etapa por una visión integrada del suelo quedó patente sobre todo por su preocupación por las medidas conservadoras, algunas de las cuales quedaron recogidas en la Ley de Repoblación de 1877. Posteriormente esta misma preocupación se plasmó en el apoyo que el Instituto de Investigaciones y Experiencias Forestales dispuso a Huguet del Villar cuyos laboratorios e infraestructura pudieron ser utilizados en los fundamentales trabajos que realizó entre 1927 y 1932.

Por otra parte la Escuela Superior de Agricultura se crea en 1866. En ella se formaron las primeras generaciones de agrónomos, cuya principal aportación a los conocimientos del suelo se deriva de sus estudios de fertilización en parcelas experimentales, así como de los análisis sistemáticos de suelos que se comenzaban a realizar a partir de los últimos años del siglo XIX. El diseño controlado de experiencias de campo, fue en definitiva la gran aportación de las Granjas Escuelas Experimentales creadas en 1887. Sus principales características se definirían así: "Dividida la finca en dos partes, una, la mayor, campo de demostración consagrada a lo que se llama el problema industrial, y destinada la otra a la experimentación. Es indispensable que cada una de las Granjas-Escuela tengan un modesto laboratorio donde puedan ensayarse las tierras y los abonos y efectuarse todos aquellos análisis y estudios de utilidad directa en la práctica, así como un pequeño observatorio meteorológico, para apreciar las condiciones meteorológicas de la comarca en su relación con los fenómenos naturales." (R.D. 9-XII-1887). La realidad de todas formas, como tantas otras veces sucedió en España, quedó mucho más atrás de lo legislado y así, años después Lucas Mallada en su libro "Los males de la Patria" (1882) se quejaba de ello en los siguientes términos: "amarga enseñanza recibimos todos, cuando no ha muchos años se quisieron establecer granjas modelo y estaciones enológicas en los principales centros de producción.

Valladolid, que no encontraba un triste caserón ni un palmo de terreno para recibir los regalos ofrecidos por el Poder Central con bondadoso y paternal interés; Alicante que tampoco halló local para su estación vinícola; Ciudad Real, que a los pocos días de ser inaugurada, con exagerada y ridícula pompa, dejó caer la suya en el más vergonzoso descrédito; Sevilla, que abandonó en lóbregos rincones donde se oxidaron máquinas y artefactos ... " (3). Poco a poco, de todas formas,

se fué imponiendo la sensatez y con la reorganización de los Distritos Agronómicos, se fueron creando en los mismos sendas Estaciones Agronómicas y Granjas de Distrito donde a partir, fundamentalmente del advenimiento del nuevo siglo se comenzó a realizar una importante labor de ensayo y conocimiento experimental del medio físico sobre el que se apoyaba la agricultura española. En dichas estaciones los análisis de suelos y las recomendaciones de abonado eran ya práctica habitual en la década de los años veinte, y sobre ellos, comenzó sin duda el conocimiento práctico de los suelos agrícolas españoles.

Los análisis de suelos que se realizaban en estas Granjas Escuelas llegaron a tener una gran meticulosidad (Fig. 1) sin embargo el concepto de elemento asimilable todavía no habría sido incorporado y en consecuencia seguía primando el análisis total del suelo, aún cuando la separación que se hacía entre los análisis de la tierra total y la tierra fina, parecía recoger algunas influencias de la coloidoquímica aplicada al suelo.

APORTACIONES DESDE LA GEOGRAFÍA.

Los geógrafos españoles de esta época presentaban en general una formación multidisciplinar, que estaba influida en la mayor parte de los casos por las ideas de Humboldt y Sitter. Dentro de este contexto destacan los trabajos que en 1916 y 1917 (4) realizó el geógrafo Dantín Careceda (1881-1943) sobre las costras calizas de los suelos españoles. En ellos se nos muestra más influido por los trabajos del americano Hilgard que por los autores alemanes o franceses, que era la fuente normalmente utilizada por los geógrafos españoles de la época. Parte de las ideas del autor americano, de dividir a los suelos del mundo en los dos grandes grupos de "húmedos" y "áridos". Y así, como una característica de los suelos de la zona árida se encontraban las costras calizas, cuya génesis interpreta básicamente a partir de los ciclos de percolación-evaporación que se suceden estacionalmente en el suelo. De todas formas, Dantín pronto abandona los estudios del medio físico para centrarse en una visión más amplia del problema regional en España, y que comienza a desarrollar en su obra inacabada de "Las Regiones Naturales de España" Tomo I (1942).

Sin embargo el geógrafo más destacado de la época en sus aportaciones a la configuración como ciencia de la edafología española, fué sin duda Huguet del Villar, E. (1871-1951) (5). Fué una personalidad independiente y original que llegó al campo de la Edafología a partir de una evolución clara desde sus planteamientos originales de geógrafo.

geografía —> geografía botánica —> geobotánica —> edafología

Su amplia formación en diferentes campos del conocimiento le hace plantearse el problema del suelo con una visión más amplia que todos sus contemporáneos, interpretándolo sobre todo en relación con el medio físico dentro de los esquemas más renovadores de la escuela rusa. Fué sin duda el más claro representante español de las doctrinas de Dokuchaiev. De todas formas sus primeros planteamientos sobre el papel del suelo, se encontraban más en la línea del francés Gaussen, con quien mantuvo importantes relaciones en su etapa de estudios geobotánicos. A partir del Congreso Internacional de Suelos de 1927, sus relaciones con edafólogos de otras escuelas se intensificaron, siendo de destacar las que mantuvo con el húngaro De Sigmond y el inglés Robinson.

En la obra de Huguet habría que destacar desde un punto de vista conceptual, sus aportaciones

ESTACION AGRONOMICA CENTRAL



Análisis tierra

(LA MONCLOA) MADRID

Boletín núm. 862

Remitente: ESCUELA ESPECIAL DE INGENIEROS AGRONOMOS

Muestra de tierra de la Huca PARCELA 1 - REGADIO - TABLAR 5 Pueblo LA MONCLOA Provincia MADRID

Análisis mecánico		Análisis físico-químico en 1000 partes de tierra fina, desecada a 110°		Análisis físico-químico de la tierra en total	
Elementos gruesos...	190	Arena gruesa	635,45	Elementos gruesos	190,00
(*) Elementos finos ..	810	Arena fina	194,05	Arena gruesa	514,71
		Caliza gruesa	7,92	Arena fina	157,18
Otras determinaciones		Caliza fina	3,11	Caliza gruesa	6,42
Humedad	21.70	Arcilla	100,58	Caliza fina	2,52
Densidad	2.25	Materia orgánica	40,89	Arcilla	81,47
Ligeramente alcalina		Carbonato Magnésico	3,95	Materia orgánica	33,12
		Indeterminados	14,05	Carbonato Magnésico	3,20
				Indeterminados	11,38
Análisis físico-químico en 1000 partes de tierra fina, desecada a 110°		Análisis químico de la tierra en total			
P. Retentivo	411.00 %	Acido fosfórico P_2O_5	5,24	Acido fosfórico P_2O_5	4,24
		Nitrógeno { nitrico amoniaco orgánico	1,70	Nitrógeno { nitrico amoniaco orgánico	1,37
		Potasa, K_2O	1,93	Potasa, K_2O	1,56
		Cal, CaO	6,87	Cal, CaO	5,56
		Magnesia, MgO	1,85	Magnesia, MgO	1,50
		Sosa, Na_2O	0,94	Sosa, Na_2O	0,76
		Hierro	17,14	Hierro	13,88
		Sulfatos	0,38	Sulfatos	0,30
		Cloruros	0,06	Cloruros	0,04
		Materias solubles	0,44	Materias solubles	0,35

(*) Denominanse elementos finos a los que pasan a través del tamiz de diez hilos por centímetro

Madrid, 4 de Julio de 1934. — V. B. El Ingeniero Director, I. DIAZ. — El Ingeniero, PEDRO BURGOS

Figura 1. Ejemplo de un análisis de suelos.

sobre las relaciones del suelo con el territorio , así como una valoración más ponderada y equilibrada de los factores de formación, que el resto de sus contemporáneos. De todas formas parece desconocer las aportaciones de Jenny en este campo ya que no lo cita en ninguno de sus trabajos .

Sus aportaciones en el campo de la Edafología se centran en más de cuarenta trabajos, y sobre todo en su Mapa de Suelos de la Península Ibérica a escala 1:1.000.000. El mapa pese a las críticas que desde los conocimientos actuales se le podría plantear, supuso para la época una aportación decisiva, situando con él a España en primera línea de los trabajos cartográficos europeos.

En resumen, se podría concluir diciendo que la visión que aportó sobre el suelo suponía un planteamiento "integrador" del mismo, desde el punto de vista tanto de su dinámica interna que se establecía entre sus horizontes, como, y; sobre todo, de su relación con los factores del medio en el que se desarrolla. Este planteamiento completaba y transcendía, sin duda, la visión parcial que hasta entonces se tenía en España del papel del suelo en la naturaleza.

LOS ESTUDIOS SOBRE LA PRODUCTIVIDAD DEL SUELO ESPAÑOL Y LA GENERACIÓN DEL 98.

A finales del XIX se vivía en España un ambiente pleno de pesimismo y frustraciones. No sólo la pérdida de las colonias, sino que también la ineficacia e ineptitud de las instituciones hacía que el español se enfrentase a una serie continua de desilusiones. Sobre todo cuando consideraba la multitud de proyectos que, o no se realizaban, o quedaban a medio camino en su ejecución. Como ejemplos propios del campo de la Edafología, se podría señalar el abortado proyecto del mapa catastral de suelos, de Vilanova, y la lenta y difícil andadura de las Granjas Escuelas y Estaciones Enológicas.

El regeneracionismo que surgió en esta misma época trató de luchar contra esta situación partiendo de un análisis crudo de la realidad, y que forzosamente, dadas las circunstancias españolas, debería ser profundamente pesimista. En este contexto habría que señalar, como uno de los momentos más singulares en esta revisión colectiva del ser de España, la conferencia que el geólogo Lucas Mallada pronunció en la Sociedad Geográfica en Madrid en 1882, sobre "Causas de la pobreza de nuestro suelo", realizándose en ella una crítica profunda sobre la pretendida riqueza del suelo hispano. En la que supuso, seguramente la primera evaluación de la capacidad productiva de nuestros suelos (Cuadro I) se llega a la conclusión , no sin cierta ironía, de que solo el 10 % de los suelos españoles están constituidos por "terrenos que nos hacen suponer que nos encontramos en un país privilegiado". Así mismo se analizan muchas de las causas que justificaban el atraso y la pobreza de España en la época, destacando de entre ellas, aparte del desastre administrativo e institucional, la escasez de árboles, a los que atribuye un papel fundamental en la protección y regeneración del suelo. La conferencia genera una importante polémica en la que intervienen las principales figuras de la geografía de la época (Urteaga 1984) (6) y posteriormente fué incorporada con otros trabajos del autor a un libro titulado sintomáticamente "Los males de la Patria". De él dijo Azorín que es el libro "más representativo del momento" y que "D.L.M., ingeniero , era amigo de D. Serafín Baroja , Ingeniero. Pío Baroja nos solía hablar de Mallada.

CUADRO I
LA PRODUCTIVIDAD DEL SUELO EN ESPAÑA SEGUN LUCAS MALLADA

– Rocas enteramente desnudas	10%
– Terrenos muy poco productivos, por la excesiva altitud, o por la sequedad, o por su mala composición	35%
– Terrenos medianamente productivos, escasos de agua, o de condiciones topográficas algo desventajosas o de composición algún tanto desfavorable	45%
– Terrenos que nos hacen suponer que vivimos en un país privilegiado.	10%

Fuente: Lucas Mallada, 1882, p. 105.

Pero siempre presentimos por las palabras de Baroja, que el libro debería ser tremendo. Pesaba vagamente esta aprensión sobre los escritores del 98" (7), y el historiador Jover Zamora, afirma del mismo libro, que "es la brecha que inicia a través de una observación semejante a la de los naturalistas, aunque no con finalidad estética, sino científica, la pobreza esencial y el atraso del pueblo español. La vieja leyenda blanca de la Española fértil y rica en toda clase de bienes, se derrumba súbitamente" (8).

LA POSTGUERRA Y ALGUNOS PUNTOS DE REFLEXIÓN SOBRE EL PERÍODO PRECEDENTE

En primer lugar destacar que de todo el período que precedió a la Guerra Civil existen dos figuras en la Edafología española, que por su propia valía científica, y sobre todo por representar de forma significativa diferentes enfoques del estudio del suelo, resumen en su propia trayectoria lo que fué esta ciencia durante esta época. Nos estamos refiriendo, indudablemente, a las figuras de Huguet y Albareda. El primero de ellos a través de un enfoque geográfico del estudio del suelo, que plantea fundamentalmente sobre el análisis de sus relaciones con los factores de formación. En él, el suelo es sobre todo el resultado de sus interacciones con el medio. Se podría definir como una visión integrada u holística del suelo. Albareda, en cambio y sobre todo en su primera época, enfoca el estudio del suelo a partir de un análisis de sus propiedades físico-químicas, apoyándose en el principio de su consideración como sistema disperso. Se podría definir como una visión analítica o reduccionista del concepto de suelo.

Por otro lado, esta dialéctica no es exclusiva de la época, ya que a escala mundial se podría señalar, que en el periodo comprendido entre las dos guerras mundiales, la Edafología se fué consolidando como ciencia independiente y con una metodología propia, a partir de la mutua fecundación entre estas dos líneas de estudio: la cartografía y genética que recogía y desarrollaba la tradición de Dokuchaev y la de los físicos, químicos y biólogos del suelo, que desde una visión más especializada, daban contenido a los diferentes procesos que constituirían lo que en aquella época se definía como el "metabolismo del suelo".

En España, lo cierto es que estas dos líneas de trabajo no llegaron a interrelacionarse de forma clara y fecunda hasta una época muy tardía. Con el exilio de Huguet emigraron también los planteamientos geográficos y genéticos del estudio del suelo, y sólo hasta la recepción de las teorías de Kubiena en la década de los cincuenta, no se volvieron de nuevo a tener en cuenta en profundidad. La reflexión que se impone, es la de considerar los años perdidos por los edafólogos españoles como consecuencia del

divorcio que se estableció entre estos dos planteamientos. Parece claro que todos los estudios de química y mineralogía del Suelo desarrollados durante este período, de un mérito indiscutible, hubieran sido sin duda mucho más fructíferos si fueran acompañados de un desarrollo paralelo de esa visión geográfica de los suelos españoles que Huguet había ya establecido y consolidado en los años precedentes.

En segundo lugar, parece oportuno recordar de nuevo que la consideración del suelo como un recurso productivo fué una de las claves que alimentó el sustrato ideológico de la generación del 98.

Y esto nos sirve para insistir una vez más en el hecho de que la sociedad se preocupará de la Edafología, es decir del suelo, cuando éste le sea presentado como algo útil y esencial para la consecución del bienestar. Por lo tanto la vertiente aplicada de los estudios del suelo descuidada a veces por los edafólogos españoles, debe ser siempre un horizonte más o menos próximo para todos los estudios del suelo. Y no realizándolo a partir de un oportunismo coyuntural, sino asumiéndolo como algo propio y esencial en el campo de trabajo de la Edafología.

Y para concluir, destacar que estos apuntes históricos de la Edafología española nos demostró de forma inequívoca, que en la consolidación de esta ciencia confluyeron una gran variedad de profesiones, aportando cada una su visión particular del suelo, y enriqueciendo con ello su estudio. Pensamos, así mismo, que este enfoque "poliédrico" del estudio del suelo no es algo pasado y que pertenece a los tiempos heroicos de una determinada disciplina, sino que también es algo inherente al estudio del suelo.

Notas:

(1) TUÑÓN DE LARA, M. - *Medio siglo de cultura española (1885-1936)*. Ed. Tecnos. Madrid. 3ª ed. 1973.

(2) GLICK, TH.F. *Einstein y los españoles*. Alianza Ed. Madrid . 1986

(3) LUCAS MALLADA . *Los males de la Patria*. Madrid , 1882 .

(4) DANTIN CERENDA, J. 1916 - Acerca de la costra caliza superficial en los suelos áridos de España. *Bol. R. Soc. Esp. H. Nat.* XVI. (305-311). Dantin ... 1917 - Sobre las películas férricas en los suelos ácidos de España. *B. R. S. E. M. N.* XVII (245-248)

(5) MARTI HENNEBERG, J. *Emilio Huguet del Villar (1871-1951): Cincuenta años de lucha por la ciencia*. Univ. de Barcelona. 1984 .

(6) URTEAGA GONZALEZ, J.L. Historia de las ideas mediambientales en la Geografía española. en *Geografía y Medio Ambiente*. MOPU. Madrid . 1984.

(7) AZORIN *Obras Completas*. VI. Aguilar. Madrid 1948.

(8) UBIETO, REGLÁ, JOVER, SECO. *Introducción a la Historia de España*. Ed. Teide, 4ª Ed. Barcelona. 1967.

LA EDAFOLOGÍA EN EL CSIC: EVOLUCIÓN O INVOLUCIÓN PRODUCTIVIDAD Y POLÍTICA CIENTÍFICA EN LOS ANTIGUOS CENTROS RELACIONADOS CON LA EDAFOLOGÍA Y AGROBIOLOGÍA DURANTE EL PERÍODO 1980-1995(*)

J.J.Ibáñez⁽¹⁾, I.Méndez⁽¹⁾, M^a.J.Martín Sempere⁽²⁾, L.Plaza⁽²⁾ y J.Rey⁽²⁾

(1) Centro de Ciencias Medioambientales, CSIC, Madrid

(2) Centro de Información y Documentación Científica, CSIC, Madrid

RESUMEN

Durante las décadas de los 80 y 90 la investigación española ha disfrutado de un impulso sin precedentes. A pesar de que tras la recesión económica de los 90, nuestras autoridades han disminuido el porcentaje del Producto Interior Bruto (PIB) destinado a Investigación y Desarrollo Tecnológico (I+DT), tanto la producción global, como la calidad de las investigaciones han continuado mejorando. Paralelamente, el papel del CSIC en el contexto del sistema español de ciencia y tecnología ha experimentado un aumento de peso específico, por cuanto su crecimiento ha sido superior al de otras instituciones. La investigación agraria no ha sido ajena a estos procesos, siguiendo los mismos patrones de cambio.

Como consecuencia de todo lo anterior, los antiguos Institutos de Edafología y Agrobiología, que actualmente constituyen el 90% de los recursos humanos y el 87% de la producción científica del Área Científico-Técnica de CC. Agrarias, han mejorado su productividad y, especialmente, la calidad de sus investigaciones. Este hecho ha ido acompañado por profundos cambios estructurales que han condicionado el tipo de estudios abordados y los hábitos de publicación de los investigadores implicados. En contraposición a lo que acaecía a principios de los años 80, actualmente, el número de publicaciones en revistas internacionales de alta visibilidad supera notablemente al de trabajos difundidos mediante revistas nacionales.

Sin embargo, la internacionalización de la ciencia del CSIC ha tenido consecuencias perjudiciales en lo que respecta a las investigaciones de importancia local o regional. De este modo, en aquellos centros en donde se cultivaban las CC. del Suelo, esta disciplina ha sufrido una traumática involución en favor de otras que hoy disfrutan de más reconocimiento, interés social y/o mayor cobertura mediática (biología molecular, mejora genética, ciencias ambientales, etc.). Generalmente, estas últimas coinciden con aquellas materias en las que es posible publicar con mayor asiduidad, lo cual permite mejorar los currícula de los investigadores que la practican, y por tanto, propiciar sus posibilidades de promoción. La edafología no ha sido la única disciplina perjudicada, sino un ejemplo más de todas aquellas que, por motivos estructurales (internos a la propia actividad

científica) o coyunturales (falta de especialistas de prestigio, conflictos entre el colectivo, etc.), mantienen actualmente una baja productividad en comparación con otras materias.

De mantenerse la política científica actual, tanto a nivel estatal como del CSIC, el futuro de la edafología quedará en manos de los departamentos universitarios.

INTRODUCCIÓN

Desde su acta fundacional (1939), El Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), ha desempeñado tradicionalmente un papel relevante en las investigaciones sobre las Ciencias del Suelo. Esta actividad se concentró, fundamentalmente, en sus antiguos centros de edafología y agrobiología. Fruto de ella fue su protagonismo en la cartografía de suelos abordada durante los años 60 y 70, la edición durante varias décadas de la revista *Anales de Edafología y Agrobiología*, principal órgano para la difusión de los resultados de la investigación edafológica en nuestro país desde su lanzamiento hasta su muerte, y el que la Secretaría de la S.E.C.S. tuviera su sede en uno de estos Centros (antiguo Instituto de Edafología y Biología Vegetal). Sin embargo, con la llegada de la democracia y especialmente tras la articulación del sistema español de ciencia y tecnología, las CC. del Suelo en el CSIC entraron en una crisis profunda de la que no tienen visos de recuperarse. Queda pues un hiato institucional que deberá corregirse si queremos que las CC. del Suelo vuelvan a recuperar el protagonismo que tuvieron con anterioridad a los eventos mencionados.

En 1995, la Presidencia del CSIC aprobó una Acción Especial con vistas a valorar la producción Científica durante los últimos 16 años de las Áreas de Recursos Naturales y CC. Agrarias. Dentro de esta iniciativa se concedió un especial interés a la evolución sufrida por los antiguos Centros de Edafología y Agrobiología que, de hecho aun constituyen el 90% de los efectivos de las CC. Agrarias de este Organismo. El presente estudio forma parte de las investigaciones realizadas a tal efecto y cuyos resultados finales está previsto que sean publicados en un libro durante 1998.

Un estudio de estas características requiere ser situado en un contexto más amplio para poder valorar los resultados obtenidos en su justa dimensión. En consecuencia, hemos articulado este trabajo siguiendo una jerarquía descendente o lo que es lo mismo un procedimiento del tipo "scaling down". En otras palabras, se parte de los aspectos contextuales más generales que conciernen a la evolución de la política científica del país, para pasar seguidamente a tratar los del Organismo, después los de las Áreas de Conocimiento implicadas y, finalmente, lo sucedido con las CC. del Suelo. Esperamos que estas líneas puedan servir de reflexión, tanto para las autoridades en materia de política científica responsables de la toma de decisiones, como para los especialistas en CC. del Suelo del CSIC. De la toma de conciencia de unos y de otros dependerá corregir la lamentable situación creada, y en consecuencia el futuro de esta disciplina en el Organismo.

LA CIENCIA EN ESPAÑA DURANTE LOS ÚLTIMOS 50 AÑOS

Tras la guerra civil, en 1939, se crea el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) con objeto de canalizar las iniciativas estatales en materia de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico (I+DE). Este Organismo, vino, en cierta medida, a sustituir a la Junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas (fundada en 1907) y a la Fundación Nacional para la Investigación Científica (constituida en 1931). El CSIC, pretendía cubrir las funciones de

asesoramiento, fomento, orientación y coordinación de la ciencia nacional, junto con la ejecución de actividades de I+DE, a través de sus centros propios, secciones universitarias y centros coordinados con universidades (Pestaña, 1996). Más aún el CSIC, al margen de su papel en la investigación básica, se convierte en el primer intento de organizar la I+DE mediante el patronato "Juan de la Cierva".

A partir de 1953, tras los cambios sociopolíticos generados por la segunda guerra mundial y la alianza en materia de defensa con los Estados Unidos, se inician diversas acciones adicionales que impulsarán el incipiente y frágil sistema de I+DE español (Pestaña, 1996), hasta que en 1961 se crea la Comisión Asesora de Investigación Científica (CAICYT) que será adscrita a la Presidencia del Gobierno como instrumento para potenciar la I+DE en el contexto de los Planes de Desarrollo (CSIC, 1977). La CAICYT, desde 1965 gestionará los modestos fondos nacionales destinados para el desarrollo de la Investigación Científica.

Durante la década de los ochenta se produce un acusado incremento de los recursos económicos destinados al Fondo Nacional para el Desarrollo de la Investigación. Estos se ven, adicionalmente, enriquecidos, tras el ingreso de España en la Comunidad Europea en 1986, por los recursos monetarios de los proyectos de los Programas Marco comunitarios (formalmente retornos de las aportaciones españolas), equivalentes en cuantía a los del Fondo Nacional (Pestaña, 1996). Desafortunadamente, este período de crecimiento, asociado a la expansión de la economía española durante el mismo período, se interrumpe en 1990, coincidiendo con otro de recesión.

Durante el mismo período se produce un cambio institucional, con la vertebración del "Estado de las Autonomías", que llevará aparejado compromisos entre el gobierno central y los autonómicos y continuará con la transferencia de competencias hacia los últimos (todavía no finalizadas) que hasta el momento afectan, entre otras, a materias educativas (p. ej. universidades) y científicas (inicio de los Programas Regionales de Investigación). Paralelamente, en 1983 se promulga la Ley de Reforma Universitaria (LRU) que incidirá en varios aspectos sobre la vertebración de la ciencia española; y en 1986 la Ley 13/1986 de Fomento y Coordinación General de la Investigación Científica y Técnica (comúnmente llamada Ley de la Ciencia). El desarrollo de esta última dio lugar a la creación, en 1988, del Plan Nacional de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico (PN I+D). Este ha cumplido ya dos fases (1988-1991 y 1992-1995), encontrándose actualmente en la tercera (1996-1999). Para la coordinación y operatividad de dicho Plan Nacional de I+DE (PNID) se constituye en 1988 la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (CICYT). Todo ello ha dado lugar a profundas transformaciones estructurales del mapa español de I+DE, cuyas consecuencias aun permanecen por valorar (Sanz, 1995).

La LRU establece la autonomía y descentralización de las Universidades, que pasan a engrosar los efectivos de I+DE regionalizados. Más aún, la masificación de la enseñanza universitaria forzaría a un notable crecimiento de las plantillas de docentes universitarios con acusadas consecuencias estadísticas sobre los indicadores de I+DE. Este crecimiento universitario no se verá correspondido por otro paralelo del CSIC, por cuanto la ausencia de la docencia en el mismo le resta incidencia social, y especialmente porque, a diferencia de las universidades, no goza de la suficiente autonomía como para abordar su propia política científica. De hecho el CSIC, actualmente depende directamente y estrechamente de su Ministerio, por lo que cualquier política de recorte presupuestario termina por afectarle inmediata y drásticamente.

Desde 1981 a 1993 el incremento en el gasto de I+DE en España se multiplica por 2,8 en moneda constante, si bien la mayor parte de este crecimiento corresponderá a la fase expansiva de la economía española (quinquenio 1985-1990). De este modo, el porcentaje del PIB destinado a I+DE paso del 0,45 en 1980 al 0,82 en 1990 y al 0,95 en 1992, para descender en 1994 al 0,85

(en 1973 solo alcanzaba el 0,15). En 1990, la contribución de ciencia española a la EU alcanzó el 4% (API, 1992). Paralelamente crecerán las plantillas de investigadores en equivalentes de dedicación plena (EDP), que pasan de unos 20.000 en 1981 a más de 40.000 en 1993 (CICYT, 1996). Antes de la recesión económica se prevía que tal gasto alcanzara el 1% en 1990 y el 1,2% en 1992. Sin embargo, en 1992 la cifra anteriormente indicada señala un proceso de involución que aun persiste (actualmente permanecemos por debajo del 0,90). Por estas razones el número de investigadores de la plantilla del CSIC permanece estancado desde 1990 (García López 1996), arruinándose cualquier perspectiva de crecimiento. Por tanto, sin el menor atisbo de duda cabe concluir que el apoyo institucional para el crecimiento de la ciencia española decae desde el inicio de la década de los 90, llegando incluso a descender, en porcentaje del PIB, en contra de las previsiones gubernamentales de años anteriores (el incumplimiento sistemático de las previsiones presupuestarias se ha convertido en la norma durante este período). Como consecuencia de estos sucesos, el porcentaje de recursos humanos (investigadores y personal de apoyo) destinados a la investigación científica en España por 1000 habitantes de población activa sigue encontrándose, como en el gasto del PIB, entre los más bajos de los países con un potencial económico similar (Barrère, 1990). En 1980 el valor de este parámetro era de 2,37, para alcanzar el 2,95 en 1987. Además, con respecto a la población total, nuestro país cuenta con unos 6 investigadores por cada 10.000 habitantes, mientras que en Francia son 13, 16 en Alemania y 25 en Estados Unidos (API, 1992). Otro indicador nada alentador es el de la inversión medio por investigador en pesetas constantes), ya que entre 1987 y 1994 la inversión por investigador disminuyó aproximadamente en un 10%, a pesar de lo cual la productividad científica se mantuvo constante en 0,33 publicaciones por investigador, cifra considerada normal en los países desarrollados (Salvador, 1996).

Por estas razones la posición española en el ranking de recursos humanos y materiales dedicados a I+DE no varió sustancialmente en los últimos siete años, oscilando alrededor del puesto 21. En este sentido cabe señalar que ya en 1990 el porcentaje del PIB dedicado a I+DE en Francia era del 2,3%, mientras en Alemania alcanzaba el 2.7%. Si damos por sentado que la innovación tecnológica depende de los esfuerzos financieros en I+DE, no cabe la menor duda que, en este aspecto, más que un proceso de convergencia estamos sufriendo otro divergencia respecto a la Europa Comunitaria.

PROGRESOS DE LA CIENCIA ESPAÑOLA EN EL PERÍODO 1980-1995

Como consecuencia de estas profundas transformaciones estructurales, la ciencia española ha ido incrementando su peso específico en el concierto internacional (Quintanilla et al., 1992; Sanz, 1995). Desde 1980 se aprecia un incremento lineal del número de publicaciones elaboradas por investigadores españoles en las bases de datos internacionales, a un ritmo de 600 nuevas cada año (Pestaña 1996). Así, por ejemplo, el número de publicaciones con autoría o coautoría de investigadores españoles registradas en la base de datos del Science Citation Index (SCI) del Instituto de Información Científica (ISI) se duplica entre 1980 y 1986, y cuadriplica desde 1981 a 1993, si bien el crecimiento lineal de este parámetro se inicia a finales de la década de los 70 (Pestaña, 1996). Actualmente el promedio oscila entre 0,2-0,35 publicaciones SCI por EDP, cifra similar al valor medio de la Unión Europea. Por tanto la productividad científica (estimada por las publicaciones incluidas en la mencionada base de datos) de los investigadores españoles no desmerece e incluso parece ser ligeramente superior al de la media comunitaria (Pestaña, 1996). Sin embargo, a pesar del reiterado triunfalismo de las autoridades españolas en materia de política

científica, los principales cambios de la productividad científica acaecieron entre 1980 y 1986, es decir, justo antes de la promulgación de la Ley de la Ciencia, de la constitución de la CICYT y del inicio de nuestra participación en los Programas marco de Investigación de la UE. Por tanto, cabe inferir que las mencionadas transformaciones institucionales del sistema español de I+DE no parecen haber mejorado su eficiencia. Esta se encuentra limitada por diversos factores mencionados en el apartado anterior, entre los cuales destaca el escaso porcentaje del Producto Interior Bruto (PIB) que destina nuestro país a I+DE. Así, por ejemplo, España gastó entre 1986 y 1996 entre 60.000 y 70.000 ecus por investigador, mientras que la media europea para el mismo período fue de unos 120.000 ecus.

A pesar de todo, en 1994, España publicó el 2,028% de los artículos de las revistas incluidas en el SCI, ocupando el puesto 11 del ranking mundial, (tras EE.UU, Japón, Reino Unido, Alemania, Francia, Canadá, Rusia, Italia, Holanda y Australia) (Gibbs, 1995) y el sexto en Europa, mientras que en 1985 nos encontrábamos en la decimonovena posición (Barrère, 1990). Si comparamos estas cifras con las aportadas en el apartado anterior sobre recursos materiales y humanos dedicados a la investigación (nº 21 del ranking mundial), constatamos de nuevo que la calidad media del investigador español es más que notable, pese a la "racanería" financiera del Estado y las Empresas (recordemos que los países de nuestro entorno dedican a este capítulo proporciones de sus PIBs entre 2 y 3 veces superiores, siendo la media comunitaria superior al 2%). Así, por ejemplo, los fondos destinados por las empresas privadas españolas a I+DE son ostensiblemente inferiores a la media comunitaria: un 30% en la empresa privada frente a más del 40% en la UE. Por otro lado, mientras que el número de investigadores españoles en estos entes no alcanza aun el 25%, en Francia supera el 40% y en Alemania el 60%.

Otros autores son más críticos con la calidad de la producción científica española de las revistas incluidas en el SCI. Así, por ejemplo Pestaña (1995), contemplando la visibilidad media de las revistas de publicación y el impacto medio de los artículos procedentes de un determinado país, constata que aunque España ocupa la posición 12ª (y no la 11ª como apuntaba Gibbs) por su participación en la producción científica mundial censada por el SCI, tan solo alcanza la 38ª por el impacto relativo de sus publicaciones. También, según este autor, la visibilidad media de los artículos españoles en revistas del SCI habría empeorado respecto a los valores correspondientes al período 1980-1984. En palabras del propio Pestaña (1995):

Esto quiere decir que el aumento espectacular del número de publicaciones internacionales de procedencia española no se ha acompañado de un aumento correspondiente en su visibilidad de impacto. A este resultado ha podido contribuir una disminución real de la calidad intrínseca de las publicaciones como consecuencia de las políticas de estímulo basadas en el mandato ¡Publica o perece! que conduce a la fragmentación de los resultados en sus mínimas unidades publicables (llamadas por otros autores publicaciones salami) y a la dispersión de grupos de trabajo y autores. Aunque tampoco hay que descartar una influencia del Efecto Remite que influye tanto en los criterios editoriales como en los hábitos de citas".

Salvador (1996), llega a las mismas conclusiones al analizar el denominado factor de impacto relativo de las publicaciones (FIRP). Según los resultados obtenidos por este autor para 21 países, el FIRP crece proporcionalmente al porcentaje del PIB dedicado a I+DE y al dinero invertido por investigador, situándose el primero alrededor de 1 cuando la inversión en I+DE se encuentra alrededor del 2%, es decir en la media comunitaria. España, con menos del 0,90 del PIB dedicado a I+DE alcanzaría un FIRP del 0,63, tan solo ligeramente superior a los de Portugal y Turquía. Sin embargo, E. Garfield (1994), fundador y Presidente del ISI no es de la misma opinión, por lo que recogemos los siguientes fragmentos de su conferencia (una mayor información sobre los datos

ofrecidos por Garfield en su visita a España puede encontrarse en Garfield 1994 y Martín Pereda 1994):

...Es evidente que la producción científica española ha crecido notablemente pasando de 3900 artículos en 1991 a 14.000 en 1992, lo que supone un incremento del 360%. Si comparamos estos datos con la producción total del SCI para el mismo período, se observa que ésta experimentó un crecimiento del 216%. Ello significa que la producción científica española creció a una tasa anual un 67% superior a la media anual en el mismo período.....que se debe a una mayor presencia de autores españoles en revistas internacionales.....Si se divide el número de citas por el número de artículos publicados se puede calcular el impacto medio de la producción española.....desde 1981 a 1985 hasta 1988-1992....El impacto total de los artículos españoles creció un 48% a lo largo de estos doce años. Además, de los 27.000 artículos españoles aparecidos entre 1981-1985, el 34% fueron citados, mientras que de los 54.000 correspondientes a 1988-1992 lo fueron el 43%. Si comparamos el incremento del impacto de las publicaciones españolas con el registrado en países de nuestro entorno, España ocupa el segundo lugar después de Alemania y por delante de Francia, Estados Unidos, Reino Unido e Italia. Bien es cierto que el impacto medio de la producción científica española, aunque ha experimentado un crecimiento importante en este período, es aún un 71% de la media de los 12 países de la CE: Todo este estudio realizado en el ISI pone de manifiesto el incremento cuantitativo y cualitativo de la producción científica española en el período 1981-1992, habiendo publicado los autores españoles no sólo más artículos en revistas internacionales, sino que, además, están teniendo mayor repercusión en la comunidad científica internacional ”.

Ayala (1995), Presidente de la Fundación Americana para el Avance de la Ciencia, es de la misma opinión que Garfield en lo que concierne al número como a la calidad de la investigación científica publicada en las revistas internacionales del SCI. Ayala (1995) también señala que el aumento continuado de la producción científica más allá de la recesión de su financiación es lógico, por cuanto existe un retraso entre la inversión y la obtención de resultados. Ayala va más lejos al señalar que no solo científicos concreto, sino algunas instituciones Españolas (más concretamente el CSIC, la Universidad Autónoma de Madrid y la Universidad Autónoma de Barcelona) se encontrarían, en lo que a calidad científica se refiere, entre las 20 mejores instituciones de Estados Unidos. Sin embargo, la realidad ha hecho cambiar de opinión a muchos expertos, ya que la retracción de fondos a la I+D+E no ha sido un problema coyuntural, sino que ha persistido en el tiempo. No debe por tanto extrañar que prestigiosos investigadores españoles como García Bellido, Barbacid, Mesegué, etc. arreciaran recientemente en los medios de comunicación contra los estamentos gubernamentales, dado el patente deterioro de la ciencia española en la década de los 90.

INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y DESARROLLO TECNOLÓGICO EN ESPAÑA (1980-1995)

Si bien es cierto que la investigación básica española no adolece, en cualquier caso, de mala salud, no puede decirse lo mismo del desarrollo tecnológico. Una de las principales preocupaciones de la UE respecto a su futuro estriba en que, si bien su producción científica no desmerece de la que se lleva a cabo en Japón o Estados Unidos, no ocurre lo mismo en lo referente a la transferencia de resultados para el desarrollo tecnológico. Este hecho se conoce bajo el término de “Paradoja Europea”. Pues bien, España parece ser el paladín de esta paradoja europea, por cuanto posee el balance tecnológico de pagos más negativo de la UE (Ayala, 1995).

España ha venido comportándose tradicionalmente como un país absolutamente dependiente de la tecnología exterior. A pesar de los esfuerzos realizados en las últimas décadas en materia de I+DT, la situación no sólo no ha cambiado, sino que ha empeorado ligeramente. La penetración de patentes extranjeras en el Estado sigue aumentando en lugar de disminuir. Como consecuencia de ello, la tasa de cobertura de nuestra balanza tecnológica en 1988 (medida como ingresos/gastos) fue de 0,13, mientras que en Alemania fue de 0,84, para Italia de 0,54, para Francia de 0,80 y para Estados Unidos de 2,61 (recopilado por API, 1992 a partir de otras fuentes). En España, la industria tan solo contribuye en un 30% a las actividades de I+DT, frente al 70% en Estados Unidos, y el 65% en Alemania, siendo en todo caso muy inferior a la media europea (Ayala, 1995). Los datos hablan por sí solos. Si bien es cierto que en el período 1981-1993 el número de patentes de procedencia española registradas en las oficinas internacionales triplican su valor inicial, también lo es que no rebasan la cifra de 175 y 250 (Pestaña, 1996). Por otro lado, mientras en la UE se invierte, por término medio unos tres millones de ecus por patente registrada, en España debemos gastar más de 10 para situar una patente en la Oficina Europea.

Aunque desde 1985 (y en especial en el III PNI+D) (CICYT 1996) se intenta desarrollar una política de estímulos a la I+DT empresarial, la disparidad y divergencia entre la productividad de publicaciones y patentes sugiere que el sistema español de I+DT adolece de una defectuosa articulación entre la investigación básica y el desarrollo tecnológico, con un predominio de la primera sobre el segundo. Existen varios factores que inciden sobre este hecho. Por un lado persiste la tradicional actitud del empresario español, refractario ante cualquier iniciativa de inversión en I+DT, por lo que no debe extrañarnos que nos encontremos entre los países de cola de la OCDE en cuanto a competitividad se refiere (API, 1992). Por otro lado, la política de promoción del personal investigador en España, basada esencialmente en potenciar la visibilidad internacional de las publicaciones de investigación básica (Reguant, 1995) no propicia tampoco un acercamiento entre los agentes económicos y la comunidad científica (Ibáñez, 1994). Más aún, el hecho de que los investigadores tiendan a publicar cada vez con mayor asiduidad los resultados de sus investigaciones en revistas internacionales, junto con la política del CSIC de reducir el número de revistas editadas por el Organismo, puede dificultar más aún la transmisión de conocimientos científicos desde los centros de investigación a la industria (Ortega et al., 1992; Sanz et al., 1995).

EL CSIC EN EL MARCO DEL SISTEMA ESPAÑOL DE I+DT

El CSIC es el mayor Organismo Público de Investigación (OPI) existente en España por sus recursos materiales, humanos y producción científica. Con cerca de 60.000 millones de ptas. de presupuesto anual, posee una tasa de autofinanciación cercana al 40%, ostensiblemente mayor que su homólogo francés el CNRS. En 1995 su plantilla estaba constituida por 8332 profesionales, de los cuales 1850 pertenecía a la escala de personal científico investigador y 1825 a la de investigadores en formación (aproximadamente el 10% del potencial científico español). Por su parte, el CNRS francés contaba en 1992 con algo más de 11.000 investigadores, a pesar de que este último no cubre tantas áreas de conocimiento como el CSIC. A nivel de la política científica estatal, su relevancia se ha incrementado en los últimos años como consecuencia de la paulatina transferencia de la investigación y docencia universitaria desde el Gobierno Central hacia las CC.AA. Sin embargo, frente a las repetidas manifestaciones públicas de los responsables de nuestra política científica, que reiteran su voluntad de potenciar este Organismo y darle un protagonismo nucleador en la investigación española, su crecimiento en personal ha sido muy

moderado en las últimas décadas y prácticamente nulo desde la mencionada recesión de los noventa. Muy por el contrario, las plantillas de las universidades españolas no han sufrido este proceso, al menos con tanta virulencia. No obstante, en la última década, el CSIC ha vuelto a recuperar el protagonismo que se pretendía en su acta fundacional, tras varias crisis y resurgimientos.

Así, la tasa de crecimiento de su producción científica en el periodo 1991-1992 alcanzó el 16% (Mato, 1994), manteniéndose al mismo ritmo desde entonces. Actualmente el CSIC cuenta, según las fuentes, entre el 6% y el 10% del potencial humano de la investigación española, mientras aporta entre el 20 y el 30% a su producción científica, ocupando el primer puesto en Agricultura y Geociencias, entre otras áreas (Mato, 1994). Los investigadores del Área de CC. Agrarias producen anualmente una media de 1 artículo en revistas incluidas en el SCI, mientras que los del Área de Recursos Naturales rebasan la cifra de 2. Si se comparan estos datos con la producción media europea, 0,2 artículos por investigador y año, no cabe la menor duda que la cualificación de los investigadores del CSIC es más que notable (Ayala, 1995).

LA INVESTIGACIÓN AGRARIA EN EL CSIC

Si se tiene en cuenta que en el CSIC la mayor parte de las investigaciones en ciencias del suelo se abordan en 11 Institutos del Área de CC. Agrarias (con un total de 239 investigadores en plantilla) y en mucho menor grado por algunos de los 17 del Área de Recursos Naturales (que en su conjunto aglutinan a 223 investigadores), así como la transferencia del INIA a las CC.AA., cabe deducir que el potencial de la investigación agraria de los OPIs nacionales (excluyendo la investigación en universidades y empresas) es más bien limitada. Como veremos más adelante, los cambios de hábitos de los investigadores de los centros mencionados, inducidos por otros tantos en la política científica, tanto estatal como del Organismo, ha conducido a que la edafología haya sido una de las disciplinas más perjudicadas en el CSIC durante las últimas décadas.

Resultará esclarecedor comparar estas cifras con las que se dan en OPIs de países de nuestro entorno. Así, por ejemplo, en Francia, al margen de la investigación edafológica llevada a cabo en diversos centros del CNRS, el INRA, contaba en 1994 con 1760 investigadores y 2057 titulados técnicos superiores. En otras palabras, este último organismo, dedicado exclusivamente a la investigación agraria, posee aproximadamente el mismo potencial que todo el CSIC en su conjunto. No debe extrañar por tanto que como consecuencia de la desmembración del INIA y de la escasa atención prestada por el CSIC a la investigación agraria (se trata del único área de conocimiento cuyos institutos han sufrido un crecimiento negativo en los últimos años), la producción científica española en esta materia haya decaído respecto a la media comunitaria, si bien ha aumentado en calidad (Garfield, 1993). Resulta como mínimo paradójico que, en una nación donde el sector agroalimentario en 1990 representaba el 16% del PIB y el 18 de las exportaciones (Barrère, 1990) la investigación agraria sufra tan escasa atención a nivel estatal.

Puede entenderse que el CSIC, a inicios del período, democrático estuviera sobredimensionado en algunas temáticas, como la investigación en CC. Agrarias, respecto a otras más necesarias para el deseado despegue de la economía española. Lo que resulta más difícil de entender y justificar es la descoordinación entre los distintos departamentos ministeriales de la administración central que ha dado lugar a este deterioro. Hoy por hoy, debe reconocerse que la contribución de los antiguos centros del INIA a la producción científica española es muy limitada. Sin embargo, cabría matizar algunos de los rasgos de la política científica del CSIC en la materia. Durante los últimos años, las autoridades del CSIC han considerado que las CC. Agrarias deberían

seguir una política finalista, es decir, destinada a cubrir las demandas de la sociedad, más que potenciar la investigación básica en general. Por tanto, no debe extrañar que la ciencia y tecnología de alimentos se encuentre separada del resto de las investigaciones agrarias en un Área de Conocimiento independiente (y por tanto con priorizaciones y política de plazas propia). Es la investigación básica, la que esencialmente ha sufrido un mayor deterioro, especialmente la que no ha sido considerada prioritaria (p ej. suelos).

1. Metodología utilizada para la obtención de los datos

El análisis de la producción científica, considerada en este estudio, implica la identificación y recuperación de la información bibliográfica correspondiente a los trabajos de investigación publicados durante el período 1980-1995 por los investigadores de los Centros e Institutos del CSIC del Área de CC. Agrarias. Debe tenerse en cuenta que los antiguos institutos de edafología y agrobiología constituyen más del 90% de los recursos humanos y contribuyen en un porcentaje equivalente a la producción científica del Área. Hemos podido apreciar que este modo de proceder no alteran los resultados estadísticos que se obtendrían de considerar tan solo los ocho centros preferentemente dedicados a las investigaciones edafológicas y agrobiológicas. Con esta finalidad se han seleccionado dos bases de datos bibliográficas como fuentes de información. Estas bases de datos, ICYT (índice Español de Ciencia y Tecnología) y SCI (*Science Citation Index*) son representativas de los trabajos publicados respectivamente en revistas españolas y extranjeras. La base de datos ICYT, desarrollada por el Centro de Información y Documentación Científica del CSIC, recoge los trabajos de investigación publicados por investigadores españoles y extranjeros en unas 450 revistas científicas y tecnológicas editadas en España, cubriendo así la producción científica correspondiente a un amplio abanico de temas en los que priman los de carácter local y regional. La base de datos norteamericana SCI, producida por el *Institute for Scientific Information (ISI)*, recoge la bibliografía científica correspondiente a un fondo documental compuesto por más de 3000 revistas de un amplio conjunto de países y de diferentes áreas temáticas, predominando, generalmente, la investigación básica sobre la de interés local y regional. Esta base de datos constituye una herramienta ampliamente utilizada en procesos de evaluación científica basados en criterios bibliométricos.

Para las consultas a las bases de datos (BD), utilizadas en este estudio, se han desarrollado unas estrategias de búsqueda que, acotadas al período 1980-1995, permiten, mediante interrogación en el campo "Lugar de trabajo" (= "*Author Affiliation*"), identificar y recuperar la información bibliográfica correspondiente a los trabajos publicados por investigadores de los centros del CSIC estudiados. Dichas estrategias de búsqueda combinan los acrónimos y los términos más significativos de las denominaciones de los centros considerados, habiéndose tenido en cuenta los cambios experimentados por algunos de éstos durante el período analizado.

Efectuadas las búsquedas bibliográficas retrospectivas en ambas BD, los documentos o registros resultantes han sido transferidos al sistema de gestión de bases de datos *Access 2.0 (Microsoft-Windows)* donde, una vez depurados eliminando documentos no relevantes y duplicados, constituyen una única BD. Sobre esta última se han efectuado varias modificaciones encaminadas a lograr una normalización de las denominaciones de los Centros e Institutos. Tras estas operaciones, la totalidad de la muestra ha sido analizada obteniéndose los resultados que son expuestos a continuación.

Adicionalmente, se elaboró una base de datos propia con vistas a ampliar y corregir la

información obtenida por los procedimientos anteriores. Con tal propósito se recopilamos los datos ofrecidos por las Memorias anuales del CSIC. En estas puede encontrarse información sobre los recursos humanos del Área y de sus centros, personal en formación, tipos y fuentes de financiación, producción científica no recogida por las bases de datos consultadas (capítulos de libros, monografías, comunicaciones en congresos, tesis doctorales, etc.). Tras un primer análisis de esta documentación se observó que, con toda seguridad, diferentes institutos (e incluso en diferentes períodos un mismo centro) interpretaban de distinta forma el modo de agrupar las actividades desarrolladas. En consecuencia se procedió a revisar y completar dicha información mediante un análisis escrupuloso de todas las Memorias Anuales que pudimos conseguir de los institutos estudiados. Estas fueron solicitadas a las direcciones de los centros involucrados, con distinto éxito. Más aún, desafortunadamente comprobamos que en la mayor parte de ellos no se conservaba un registro completo de las mismas. En cualquier caso, se consiguió un fondo documental más completo que el actualmente disponible en los archivos centrales del CSIC. Básicamente, mediante las tres bases de datos (ICYT, SCI, y la nuestra propia) logramos abordar los siguientes temas: evolución de las plantillas; captación de recursos económicos y sus tipos; producción científica; productividad; difusión de la información mediante revistas, monografías y proceedings, tanto españoles como extranjeros; cooperación entre investigadores y entre centros; hábitos de publicación de los autores y perfil temático de la investigación realizada.

Los valores de producción corresponden al total de documentos publicados durante el período 1980-1995, mientras que la producción por investigador tan solo al decenio 1985-1995, por cuanto era el único del que se disponía de información sobre los recursos humanos, en todos los centros. Dado que la reproducción en este capítulo del enorme volumen de datos, tablas y gráficos generados requeriría un gran número de páginas, nos centraremos en un análisis de los resultados más relevantes. En cualquier caso, está previsto publicar toda esta documentación, en forma de libro, durante 1998. Con vistas a incluir aquí la mayor información posible, las tablas que se presentan sobre publicaciones en revistas nacionales e internacionales han sido elaboradas con el material de las Memorias, mientras que en el texto se utilizan las fuentes CICYT y SCI. Existen algunas discrepancias en los resultados obtenidos mediante ambas estrategias de búsqueda que serán expuestas en el siguiente apartado.

2. Observaciones y limitaciones de la metodología utilizada

Con el fin de facilitar la interpretación de los datos analizados en este estudio, conviene precisar que la información de partida, aunque numéricamente representativa, no corresponde a la totalidad de los artículos publicados por los investigadores de los centros del Área de CC. Agrarias, por cuanto no han sido consultadas otras bases de datos bibliográficas susceptibles de contener registros adicionales. Un análisis más detallado podría haber incluido la consulta de otras bases de datos de reconocido prestigio, tales como BIOSIS, Chemical Abstracts, Food Science and Technology Abstracts, etc. Entendemos, no obstante, que el uso exhaustivo de estos recursos, al margen de haber complicado en exceso el estudio, no habrían alterado en absoluto, ni los patrones detectados, ni las conclusiones aquí presentadas. En efecto, hemos podido comprobar que el número de publicaciones registradas en las BD CICYT y SCI es representativo aunque inferior al de nuestra propia DB, diseñada en base a las Memorias de los Institutos. Las causas deben buscarse en una serie de factores que por mor de la brevedad no serán detallados en este capítulo, aunque si son de interés para abordar estudios bibliométricos más detallados. En otras palabras, las fuentes

mencionadas subestiman la producción científica global y generan sesgos que afectan más a unas revistas más que a otras. Finalmente tan solo añadir que, en este análisis no se han contemplado, con la misma atención, otros aspectos de la actividad y producción científica, tales como patentes, tesis, informes (reports) u otro tipo de publicaciones que también son resultado de la labor investigadora.

En el desarrollo de este estudio solo se han considerado los aspectos cuantitativos de la producción científica. En ningún momento se han abordado consideraciones sobre la “presunta calidad” de los artículos generados y “relevancia” de las revistas utilizadas por los investigadores para la publicación de sus originales. El hecho de considerar por separado la producción en revistas españolas y extranjeras, no implica ninguna valoración de calidad, más bien se trata de ilustrar los cambios experimentados, a lo largo del tiempo, como respuesta a un conjunto de variables de diversa naturaleza. Entre éstas cabría señalar acciones concretas de política científica, valoración de curricula por parte de evaluadores, aparición de nuevas revistas y desaparición de otras y, finalmente, la posible incidencia de los cambios de orientación temática en algunos centros.

CENTROS DEL CSIC ACTUALMENTE VINCULADOS AL ESTUDIO DE LOS SUELOS

En este contexto histórico, el CSIC, tras su constitución, comienza a crear y distribuir los antiguos institutos de edafología y agrobiología por gran parte del territorio nacional. Este proceso fue lógica consecuencia de la autarquía a que se vio forzada España por el aislamiento internacional que supuso el régimen político dictatorial que siguió a la guerra civil. No debe por tanto extrañar que tras la contienda, y en un país eminentemente agrícola, las investigaciones agrarias (y con ellas las ciencias del suelo), se consolidaran en una posición de privilegio respecto a investigaciones de otra índole: la autosuficiencia alimentaria era una de las grandes prioridades nacionales, previas a cualquier otra iniciativa de reactivación económica. Actualmente, permanecen abiertos ocho de aquellos centros que abordaban investigaciones relacionadas con la edafología y la agricultura. Todos ellos se encuentran incluidos en el Área de CC. Agrarias (con 11 centros), una de las ocho Áreas de Conocimiento en las que se vertebra la actividad científica del CSIC. Estos son: Centro de Ciencias Medioambientales (CCMA, Madrid), Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura (CEBAS, Murcia), Estación Experimental del Aula Dei (EEAD, Zaragoza), Estación Experimental del Zaidín (EEZ, Granada), Instituto de Investigaciones Agrobiológicas de Galicia (IAG, S. de Compostela), Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología (IRNASA, Salamanca), Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología (IRNAS, Sevilla) y la Estación Experimental de la Mayora (EELM). Las plantillas de estos centros superan el 90% de los recursos humanos del Área.

Si bien es cierto que, desde el punto de vista de la actividad edafológica, durante las tres últimas décadas han desaparecido más institutos que los que se han creado, también lo es que, en los últimos años, se constituyeron el Instituto de Agricultura Sostenible (IAS, Córdoba) perteneciente Área de CC. Agrarias, y más recientemente el Centro de Investigaciones sobre Desertificación (CIDE, Valencia; en consorcio con la Universidad de Valencia y la Generalidad Valenciana), perteneciente al Área de Recursos Naturales. Dentro de este último Área, al margen del instituto mencionado, existen algunos equipos de tamaño reducido, que investigan la degradación de los suelos, y en especial los procesos de erosión. Entre estos cabe mencionar: Estación Experimental de Zonas Áridas (EEZA, Almería), Instituto de CC. de la Tierra “Jaume Almera” (ICTJA, Barcelona), Instituto Pirenaico de Ecología (IPE, Zaragoza) e Instituto Andaluz de CC. de la Tierra (IACT, Granada). Adicionalmente, otro centro de este área, el Instituto de Geología Económica (IGE,

Madrid), cuenta con uno de los escasos grupos españoles que aborda paleoedafología pre-pliocuaternaria). Así pues, en total, 6 de los 17 institutos del Área de Recursos naturales abordan temas relacionados con la erosión del suelo y la paleoedafología, si bien el número de investigadores en plantilla que se dedica a ello es muy escaso. En cualquier caso, con la excepción del CIDE, los institutos de este Área apenas cuentan con edafólogos, en el sentido estricto del término.

EVOLUCIÓN DE LOS RECURSOS HUMANOS EN LOS ANTIGUOS INSTITUTOS DE EDAFOLOGÍA Y AGROBIOLOGÍA (1980-1995)

Durante este período, y en especial desde 1986, las plantillas de estos centros han permanecido estables (Tabla 1). Si tenemos en cuenta que durante estos años en España asistimos a un notable incremento de los recursos humanos dedicados a I+DT, cabe inferir que el mencionado esfuerzo en materia de política científica se destinó a cubrir otros objetivos. Por las mismas razones, el número de personal científico en formación tampoco ha variado sustancialmente durante el último decenio. Sin embargo, si se analizan detalladamente los perfiles de los investigadores dados de alta y baja por centro se observan cambios muy acusados en sus líneas de investigación. Los datos compilados por la dirección del IRNAS pueden servir de ejemplo ilustrativo (Tabla 2). Los datos hablan por sí solos, por lo que no haremos comentario alguno para este caso concreto.

Tabla 1

Nº de Investigadores en Plantilla (Colaboradores, Investigadores y Prof. Investigación)											
CENTRO	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95
CCMA	36	51	44	45	51	51	51	47	46	53	51
CEBAS	4	37	37	39	40	40	41	41	35	33	33
EEAD	9	13	17	19	20	18	21	22	22	20	21
ELM	5	5	6	6	7	7	7	6	6	7	8
EEZ	37	41	43	45	48	49	49	52	52	53	54
IIAG	11	12	11	12	13	15	14	15	13	12	13
IRNAS	28	30	30	27	27	28	28	28	28	28	17
IRNASA	23	24	24	24	23	21	21	21	20	18	19
TOTAL	183	213	212	217	229	229	232	232	222	224	216

Podemos también utilizar los perfiles de los nuevos colaboradores científicos (CC) del CSIC como descriptores de las orientaciones de la política científica del organismo. De este modo, en el período 1990-1996, el Área de Recursos Naturales destinó las siguientes plazas a los ocho institutos estudiados: paleohidrología (1), procesos superficiales terrestres (2), restauración de monumentos (1), degradación y recuperación de suelos (1). El reparto realizado en el Área de CC. Agrarias para los centros mencionados, durante período, fue el siguiente: mejora genética vegetal y Protección de Cultivos (9), biología vegetal (micorrizas, fijación biológica del nitrógeno, fotosíntesis, etc.) (7), genética molecular de plantas y biotecnología (4), necesidades hídricas de

los cultivos (3), bioquímica de oligoelementos (1), utilización del agua y suelo en sistemas agrícolas (1), agrometeorología (1) y nutrición de animales monogástricos (1). Como puede observarse tan solo dos de las 32 plazas están directamente relacionadas con las ciencias del suelo. No debe por tanto extrañar el desmantelamiento que sufre esta disciplina en el seno del CSIC. Aunque pudiera parecer anecdótico a primera vista, el hecho de que los vocablos suelo y edafología hayan ido paulatinamente desapareciendo de las denominaciones de los institutos mencionados, así como de sus estructuras departamentales, no es una cuestión trivial, por cuanto ya no son parte sustancial de su vocación.

Tabla 2

Perfil temático de las altas y bajas de personal en el Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla (1985-1996)

Altas		Bajas	
Perfil	Número	Perfil	Número
Biología Molecular	5	Bioquímica Vegetal	1
Biología Vegetal	1	Química de Suelos	2
Restauración de Monumentos	1	Física de Suelos	1
Teledetección	1	Fertilidad de Suelos	2
Química Ambiental	1	Cartografía de Suelos	2
Química de Suelos	1	Física de Suelos	1
Materia Orgánica	1		

CAPTACIÓN DE RECURSOS ECONÓMICOS

Durante las últimas décadas, el CSIC ha perdido paulatinamente la capacidad de organizar su propio plan sectorial y por tanto, en gran medida, la autonomía para planificar la investigación que lleva a cabo. Si bien es cierto que el Plan de Actuación del Organismo (1995-1999) explicita las prioridades científicas a desarrollar, también lo es que solo dispone de fondos testimoniales para abordar algunas actividades secundarias acciones especiales, planes interáreas, algunas contrataciones de personal posdoctoral y poco más). Además, dado que desde 1992 el número de plazas por oposición para el acceso de nuevos Colaboradores, Investigadores y Profesores de Investigación a penas cubren las vacantes por jubilación, el poder de su Presidencia se encuentra menguado por la escasez de recursos financieros. Otro tema son las acciones sobre infraestructura ya que, previo acuerdo con el Ministerio, se le conceden fondos FEDER para su consecución.

En consecuencia, el personal investigador intenta cubrir sus necesidades económicas concurriendo a convocatorias públicas de programas de investigación o concertando contratos con empresas. Actualmente, y por término general, con vistas a la evaluación de las actividades desarrolladas por los investigadores, son más apreciados los fondos captados del extranjero, especialmente a través de los proyectos de investigación con cargo a los Programas Marco

ENTRO	85		86		87		88		89		90		91		92		93		94		95	
	N	R	N	R	N	R	N	R	N	R	N	R	N	R	N	R	N	R	N	R	N	R
CMA	10	0.28	15	0.29	14	0.32	13	0.29	10	0.20	17	0.33	15	0.29	15	0.32	15	0.33	17	0.32	17	0.3
ERAS	14	0.41	13	0.35	10	0.27	11	0.28	12	0.30	15	0.37	16	0.39	23	0.56	21	0.60	20	0.60	28	0.8
EAD	8	0.89	6	0.69	6	0.35	5	0.26	7	0.35	11	0.61	10	0.48	15	0.68	16	0.73	15	0.75	18	0.8
ELM	1	0.20	5	1.0	4	0.67	4	0.67	4	0.57	6	0.87	5	0.71	7	1.17	6	1.00	5	0.71	6	0.7
EZ	22	0.59	14	0.34	14	0.32	15	0.33	13	0.27	16	0.33	19	0.39	23	0.44	27	0.52	24	0.45	37	0.6
AG	7	0.64	4	0.33	3	0.27	3	0.25	4	0.31	4	0.27	4	0.28	5	0.33	2	0.15	2	0.17	1	0.0
NAS	10	0.36	5	0.17	12	0.40	9	0.33	7	0.26	12	0.42	15	0.53	17	0.61	8	0.28	13	0.46	15	0.8
NASA	23	1.00	9	0.37	8	0.33	7	0.29	6	0.26	7	0.33	9	0.43	10	0.48	6	0.30	5	0.28	9	0.4
TOTAL	95	0.59	71	0.39	717	0.40	67	0.37	63	0.32	881	0.46	93	0.50	115	0.58	101	0.55	116	0.53	131	0.7

N=Nº total de proyectos; R=ratio proyectos/investigador; PGC= Promoción Gral. del conocimiento; PN= Plan Nacional de I+D; CSIC= Consejo Superior de Investigaciones Científicas

Tabla 4. Poyectos de Cooperación Internacional

CENTRO	85		86		87		88		89		90		91		92		93		94		95	
	N	R	N	R	N	R	N	R	N	R	N	R	N	R	N	R	N	R	N	R	N	R
CENTRO	0	0.00	0	0.00	4	0.09	4	0.09	9	0.18	5	0.10	3	0.06	4	0.08	6	0.13	8	0.15	5	0.10
CCMA	0	0.00	0	0.00	0	0.00	2	0.05	1	0.02	3	0.07	8	0.19	12	0.29	12	0.34	18	0.54	17	0.51
CERAS	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	1	0.05	3	0.14	2	0.09	0	0.00	1	0.05	5	0.23
EDAD	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	1	0.14	1	0.17	1	0.17	1	0.14	1	0.12
EELM	0	0.00	0	0.00	2	0.05	2	0.04	3	0.06	5	0.10	7	0.14	7	0.13	15	0.29	13	0.24	19	0.36
EELZ	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	2	0.14	2	0.12	2	0.15	2	0.17	2	0.15
HAG	0	0.00	0	0.00	1	0.03	3	0.11	3	0.11	3	0.11	5	0.18	4	0.14	2	0.07	7	0.25	8	0.47
IRNAS	0	0.00	0	0.00	1	0.04	0	0.00	3	0.13	3	0.14	11	0.52	12	0.57	6	0.30	7	0.39	5	0.26
IRNASA	0	0.00	0	0.00	8	0.04	11	0.05	19	0.08	20	0.09	40	0.17	44	0.19	44	0.20	57	0.25	62	0.30
TOTAL	0	0.00	0	0.00	4	0.09	4	0.09	9	0.18	5	0.10	3	0.06	4	0.08	6	0.13	8	0.15	5	0.10

Tabla 5. Proyectos Otros Organismos (p.ej. Comunidades Autónomas)

CENTRO	85		86		87		88		89		90		91		92		93		94		95	
	N	R	N	R	N	R	N	R	N	R	N	R	N	R	N	R	N	R	N	R	N	R
CCMA	14	0.39	12	0.23	0	0	1	0.02	5	0.10	7	0.14	13	0.25	14	0.30	13	0.28	11	0.21	15	0.29
CEBAS	0	0.00	8	0.22	8	0.22	13	0.33	21	0.52	24	0.60	17	0.41	15	0.36	22	0.63	14	0.42	25	0.75
EEAD	0	0.00	3	0.23	4	0.23	5	0.26	7	0.35	7	0.39	8	0.38	10	0.45	7	0.32	11	0.55	9	0.43
EELM	1	0.20	0	0.00	0	0.00	2	0.33	3	0.43	3	0.43	3	0.43	3	0.50	7	1.17	9	1.28	15	1.87
EEZ	0	0.00	3	0.07	3	0.07	13	0.23	10	0.21	8	0.16	7	0.14	4	0.08	7	0.13	4	0.07	7	0.13
IAG	0	0.00	0	0.00	1	0.09	3	0.25	3	0.23	1	0.07	1	0.07	2	0.13	6	0.46	6	0.50	9	0.69
IRNAS	1	0.03	1	0.03	1	0.03	2	0.07	0	0.00	0	0.00	0	0.00	1	0.03	15	0.53	1	0.03	3	0.18
IRNASA	0	0.00	5	0.02	4	0.17	0	0.00	2	0.09	1	0.05	3	0.14	4	0.19	7	0.35	4	0.22	4	0.21
TOTAL	16	0.08	32	0.1	21	0.1	39	0.18	51	0.22	51	0.22	52	0.22	53	0.22	77	0.35	60	0.27	87	0.40

Tabla 6. Otras Fuentes de Financiación (Contratos, Convenios, etc.)

CENTRO	85		86		87		88		89		90		91		92		93		94		95	
	N	R	N	R	N	R	N	R	N	R	N	R	N	R	N	R	N	R	N	R	N	R
CCMA	5	0.14	11	0.21	10	0.23	4	0.9	9	0.18	4	0.08	10	0.20	15	0.32	24	0.52	29	0.55	13	0.25
CEBAS	15	0.44	1	0.03	2	0.05	4	0.10	17	0.42	6	0.15	1	0.02	6	0.17	8	0.23	7	0.21	1	0.03
EEAD	8	0.89	3	0.23	7	0.41	4	0.21	1	0.05	6	0.33	8	0.38	9	0.40	7	0.32	16	0.80	11	0.52
EELM	3	0.60	2	0.40	1	0.17	0	0.00	0	0.00	0	0.00	1	0.14	2	0.33	3	0.50	3	0.43	1	0.12
EEZ	5	0.13	2	0.05	4	0.05	8	0.18	2	0.04	5	0.10	5	0.10	10	0.19	6	0.11	8	0.15	15	0.28
IAG	2	0.18	2	0.17	0	0.00	2	0.17	3	0.23	1	0.07	0	0.00	1	0.07	1	0.08	0	0.00	0	0.00
IRNAS	2	0.07	0	0.00	0	0.00	2	0.07	4	0.15	4	0.14	4	0.14	5	0.18	3	0.11	20	0.71	21	1.23
IRNASA	4	0.17	4	0.17	7	0.29	7	0.29	3	0.13	4	0.19	7	0.23	3	0.14	4	0.20	4	0.22	5	0.26
TOTAL	39	0.21	25	0.12	31	0.17	31	0.14	39	0.17	30	0.13	36	0.15	51	0.22	59	0.26	87	0.40	67	0.31

Comunitarios. Estos son seguidos en relevancia por fondos CICYT. Los proyectos conseguidos de los Programas Regionales de Investigación de las CC.AA, ocuparían el tercer puesto, mientras que los contratos estarían en último lugar. Los investigadores del CSIC, en general, y de las Áreas de Recursos naturales y CC. Agrarias en particular, han mantenido un importante crecimiento sostenido en la consecución de fondos de todas las fuentes mencionadas. En la última década la captación de recursos económicos se ha multiplicado, según el origen del organismo financiador, por 2, tres e incluso más. Por ejemplo, mientras los ocho institutos estudiados tenían 11 proyectos internacionales en 1988, alcanzaban la cifra de 54 en 1994. Esta es la razón que ha llevado a que se logre una tasa de autofinanciación que supera, frecuentemente, las conseguidas por otros Organismos europeos de igual o mayor envergadura (como es el caso del CNRS francés). Ésta es también la razón que justifica que la producción científica del organismo siga creciendo aún en un período económicamente tan restrictivo que cabe calificarlo de involutivo. Sin embargo todo parece apuntar, y la Presidencia del CSIC así lo reconoce, a que no será posible mantener la tendencia actual ya que, con los recursos humanos actuales, no es posible hacer más. Finalmente cabe apuntar que el Área de CC. Agrarias y especialmente la de Recursos Naturales no desmerecen en su competitividad para captar fondos respecto a otras que, en teoría, deberían ser más competitivas (Ciencia y tecnologías Físicas, Ciencia y Tecnología Químicas, Ciencia y tecnología Agroalimentaria, etc.).

PRODUCCIÓN CIENTÍFICA EN LOS CENTROS DE EDAFOLOGÍA Y AGROBIOLOGÍA (ÁREA DE CC. AGRARIAS)

1. Producción científica de artículos en revistas ICYT y SCI

La producción científica de artículos correspondiente al conjunto de centros del Área asciende a un total de 3264 documentos, de los cuales 1926 fueron publicados en revistas españolas (base de datos ICYT) y 1305 en revistas internacionales incluidas en la base de datos SCI. De todos ellos 33 eran comunes a ambas bases de datos. La evolución temporal de la producción científica presenta dos períodos claramente diferenciados. El primer período, 1980-90, se caracteriza por un descenso paulatino en el número de artículos publicados, pasando de 243 documentos en 1980 a 153 en 1990. Por el contrario, en el segundo período, se invierte esta tendencia, experimentando un crecimiento que llega a superar, en valores absolutos, los máximos iniciales. Cabe destacar que el cambio de pendiente en la curva de producción científica producida entre 1990 y 1991, no está asociado a variaciones apreciables en el número de investigadores de los centros del Área durante el período considerado.

El 87,7% de la producción científica correspondiente al área de Ciencias Agrarias proviene de los antiguos centros de edafología y agrobiología: Centro de Ciencias Medioambientales, CCMA (616 documentos), Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Salamanca, IRNASA (383), Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla, IRNAS (373), Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura, CEBAS (516), Estación Experimental del Zaidín, EEZ (626), Estación Experimental La Mayora, EELM (60), Instituto de Investigaciones Agrobiológicas de Galicia, ILAG (135) y la Estación Experimental Aula Dei, EEAD (219). La producción guarda, en general, una estrecha relación con el número de efectivos humanos de cada centro. Como ya comentamos con anterioridad los perfiles de las curvas temporales para el conjunto del Área y para

los ocho centros mencionados son prácticamente idénticas (Tabla 7). Considerando la publicación total de artículos por centro, se observa que los mayores valores corresponden a EEZ, CCMA, CEBAS, IRNAS e IRNASA.

Tabla 7

Producción científica media por investigador (output/investigador) para los antiguos centros de edafología y agrobiología y para el conjunto del Área de CC. Agrarias

	Output/investigador		
	Total (ICYT+SC)	ICYT (Rev. Esp)	SC (Rev. Intern)
C. Edafol. Agrobiol.	0.80	0.42	0.39
Total CC. Agrarias	0.81	0.40	0.41

2. La producción científica en revistas españolas y en revistas extranjeras.

Frente a la homogeneidad descrita en el apartado anterior, existen, algunas diferencias en la producción científica de los centros, según se consideren los trabajos publicados en revistas españolas (ICYT) o en revistas extranjeras (SCI). El hecho más significativo que demuestra los cambios de comportamiento de los investigadores acaece al comparar la evolución temporal del número de artículos de la base de datos ICYT frente a la del SCI. La producción científica en revistas españolas es, en origen, muy superior a la recogida en revistas extranjeras. Sin embargo, a lo largo del período considerado se observa que el número de trabajos va disminuyendo progresivamente en las primeras, y aumentando en las segundas hasta igualarse la producción de ambas entre los años 1990 y 1991. A partir de este momento se invierte la situación, pasando, en tan solo un período de cuatro años, a ser casi cuatro veces superior el número de documentos en revistas extranjeras que en españolas. Este proceso de cambio es común a todos los centros analizados. El porcentaje de trabajos publicados, a lo largo de dicho período, en ambos fondos de revistas se muestra en las Tablas 8 y 9.

La subdivisión de las temáticas de los documentos de la BD SCI se ha elaborado según los criterios de la CHI Research Inc. Los títulos de las revistas también fueron clasificados según los niveles de investigación Narin (Noma et al. 1993). Para analizar las tasas de cambio con el tiempo se han utilizado dos índices distintos (Katz et al. 1995). De este modo, en la columna "cambio" se representan las variaciones calculadas entre los dos quinquenios señalados, teniendo en cuenta la diferencia entre ambos promedios y dividiendo su resultado por la media para el quinquenio 1980-1985. El índice "AYPC" (*Average Yearly Percentage Change*) es el producto de dividir la tasa de cambio media anual en el número de publicaciones (obtenido de la pendiente de la recta de regresión) por el número de artículos medios para el período 1980-1995.

3. Productividad (Producción científica y recursos humanos)

La relación entre la producción científica y el número de investigadores que la generan

Tabla 8.

Distribución de artículos en revistas del SCI por subcampos de especialización

Subcampo	Artículos	%	Artículos (1980-1985)	Artículos (1990-1995)	Tasa cambio AYPC	
Botánica	406	30.3	55	222	3.2	0.14
Agricultura y Alimentación	229	17.1	42	116	2.8	0.12
M. Ambiente	82	6.1	0	52	—	0.21
Microbiología	70	5.2	6	44	7.5	0.20
Bioquímica & Biol. Molec.	63	4.7	11	36	2.5	0.15
Geología	54	4.0	9	24	1.6	0.12
Química Analítica	52	3.9	12	21	0.5	0.08
Química Física	45	3.3	9	23	1.6	0.11
Ingeniería Biomédica	30	2.2	0	18	—	0.20
Genética	29	2.1	2	24	6.5	0.21
Ganadería	28	2.1	3	14	4.0	0.12
Otros	250	18.7	38	136		
Total	1338	100.0	187	730	3.6	0.15

La subdivisión de las temáticas de los documentos de la BD SCI se ha elaborado según los criterios de la CHI Research Inc. Los títulos de las revistas también fueron clasificados según los niveles de investigación Narin (Noma et al. 1993). Para analizar las tasas de cambio con el tiempo se han utilizado dos índices distintos (Katz et al. 1995). De este modo, en la columna "cambio" se representan las variaciones calculadas entre los dos quinquenios señalados, teniendo en cuenta la diferencia entre ambos promedios y dividiendo su resultado por la media para el quinquenio 1980-1985. El índice "AYPC" (*Average Yearly Percentage Change*) es el producto de dividir la tasa de cambio media anual en el número de publicaciones (obtenido de la pendiente de la recta de regresión) por el número de artículos medios para el período 1980-1995.

proporciona un indicador de productividad que puede ser aplicado al estudio de la actividad investigadora ya sea a nivel de área, centro, grupo de trabajo o investigador. Considerando el área de Ciencias Agrarias, en su conjunto, se observa que la productividad pasa de 0,8 trabajos/investigador en 1985 a 1,0 en 1994. Esta evolución se caracteriza por una primera fase de ligero descenso seguida, desde 1990, por un incremento sostenido, que se corresponde con el aumento de trabajos publicados en revistas internacionales. Por este motivo, se ha analizado la evolución de la productividad considerando los dos quinquenios extremos (1985-89 y 1990-94) del período analizado. Los valores medios del área correspondientes a cada uno de estos períodos son de 0,72 y 0,87 trabajos por investigador.

Tabla 9.

Distribución por disciplinas UNESCO de los artículos publicados en revistas españolas

Disciplina	Artículos	%	Artículos (1980-1985)	Artículos (1990-1995)	Tasa cambio	AYPC
CC. del Suelo	433	22.1	291	32	-89.0	-16.1
Agronomía	262	13.3	164	48	-70.7	-11.7
Ganadería	233	11.9	100	86	-14.0	-2.0
Horticultura	228	11.6	98	77	-21.4	-2.3
Biol. Vegetal	137	7.0	68	34	-50.0	-5.8
Geología	97	5.0	32	28	-12.5	-2.3
Tecnol. Alimentos	82	4.2	34	25	-11.8	-0.5
Agroquímica	73	3.7	52	10	-61.5	-11.3
Fitopatología	71	3.6	31	27	4.5	-0.5
Tecnol. Ambiental	45	2.3	15	27	80.0	3.8
Otros	298	15.3	117	86		
Total	1959	100.0	1002	480	-52.2	-7.1

(*) El significado de las dos últimas columnas se explicita al pie de la figura anterior

Los resultados de este análisis demuestran que el CCMA y el IRNASA tenían, en el primer período, una productividad superior a la media del área, mientras que en el segundo ocurre lo contrario. La EELM y la EEZ, que en el intervalo 1985-1989 presentaban una productividad coincidente con la correspondiente del área, pasan a tener en 1990-1994 unos valores inferiores a los del primer período. El IIAG disminuye sensiblemente su productividad y en ningún caso alcanza los promedios del área. La EEAD ha disminuido ligeramente la productividad aunque en ambos períodos mantiene valores superiores a la medias del espacio muestral. Finalmente destaca el incremento de la productividad experimentado por el IRNAS y de forma especialmente acusada por el CEBAS.

4. Índice de coautoría

Este parámetro, definido como el número medio de autores firmantes de un mismo artículo, constituye, junto con el análisis de cooperación entre centros e instituciones, un indicador del grado de cooperación entre investigadores de una comunidad. El promedio de autores por documento (índice de coautoría), para el conjunto del área, es de 3,17. Este índice alcanza mayores estimaciones en los trabajos de las revistas internacionales (3,48) que en las nacionales (2,96). Su evolución es distinta para unas y otras ya que, partiendo de un valor de 2,7 en 1980 en ambos tipos de revistas, alcanza en 1995 la cifra de 3,3 en el caso de publicaciones en revistas españolas y de 3,7 en el de las extranjeras.

Table 10.

Artículos publicados en revistas extranjeras																							
85		86		87		88		89		90		91		92		93		94		95			
CENTRO	N	R	N	R	N	R	N	R	N	R	N	R	N	R	N	R	N	R	N	R	N	R	
CCMA	16	0.44	27	0.53	41	0.93	38	0.84	43	0.84	31	0.61	32	0.63	44	0.94	52	1.13	49	0.92	53	1.04	
CERAS	16	0.47	18	0.47	24	0.65	32	0.82	39	0.97	31	0.77	33	0.80	35	0.85	70	2.00	63	1.90	48	1.45	
EAD	3	0.33	11	1.00	4	0.23	4	0.21	11	0.55	27	1.00	15	0.71	25	1.13	25	1.13	32	1.60	21	1.00	
EELM	8	1.60	8	1.60	3	0.50	4	0.67	8	1.14	8	1.14	7	1.00	3	0.50	3	0.50	9	1.28	4	0.50	
FEZ	19	0.51	35	0.85	46	1.07	43	0.95	31	0.64	48	0.98	46	0.94	59	1.13	65	1.25	79	1.49	64	1.21	
HAG	5	0.45	8	0.67	6	0.54	16	1.33	11	0.85	12	0.80	15	1.07	14	0.93	25	1.92	12	1.00	8	0.61	
IRNAS	13	0.46	14	0.47	18	0.60	24	0.89	25	0.92	19	0.68	33	1.18	39	1.39	13	0.46	42	1.50	34	2.00	
IRNASA	9	0.39	10	0.42	12	0.50	14	0.58	25	1.09	19	0.90	21	1.00	18	0.86	23	1.15	27	1.50	34	1.79	
TOTAL	89	0.49	133	0.62	154	0.73	175	0.81	193	0.84	195	0.85	202	0.87	237	1.02	376	1.24	313	1.38	266	1.23	

Tabla 11. Artículos Publicados en Revistas Españolas.

CENTRO	85		86		87		88		89		90		91		92		93		94		95	
	N	R	N	R	N	R	N	R	N	R	N	R	N	R	N	R	N	R	N	R	N	R
CCMA	34	0.94	19	0.37	24	0.54	31	0.67	28	0.55	11	0.21	11	0.21	16	0.34	15	0.33	18	0.35	34	0.67
CEBAS	26	0.76	14	0.38	13	0.35	24	0.61	27	0.67	26	0.65	18	0.44	15	0.36	7	0.20	5	0.15	20	0.60
EEAD	13	1.44	11	0.85	20	1.18	4	0.21	14	0.70	32	1.78	28	1.33	13	0.59	11	0.50	6	0.30	13	0.62
EELM	7	1.40	2	0.40	1	0.17	2	0.33	2	0.28	4	0.57	2	0.28	0	0.00	1	0.14	1	0.12	1	0.12
EEZ	22	0.59	18	0.44	22	0.51	39	0.87	21	0.44	16	0.33	15	0.31	8	0.15	10	0.19	9	0.17	11	0.20
IIAG	16	1.45	8	0.67	7	0.64	0	0.00	1	0.08	4	0.27	2	0.14	3	0.20	0	0.00	1	0.08	0	0.00
IRNAS	8	0.28	3	0.10	13	0.43	6	0.22	0	0.00	7	0.25	11	0.39	5	0.18	6	0.21	3	0.11	6	0.35
IRNASA	42	1.82	22	0.92	33	1.37	21	0.87	19	0.83	6	0.28	10	0.48	12	0.57	8	0.40	5	0.28	1	0.05
TOTAL	168	0.92	97	0.45	133	0.63	127	0.58	112	0.49	106	0.46	97	0.42	72	0.31	58	0.26	48	0.21	86	0.40

Tabla 12. Capítulos de Libro, Libros y Monografías.

CENTRO	85		86		87		88		89		90		91		92		93		94		95	
	N	R	N	R	N	R	N	R	N	R	N	R	N	R	N	R	N	R	N	R	N	R
CCMA	18	0.50	16	0.31	11	0.25	16	0.35	15	0.29	25	0.49	25	0.49	50	1.06	100	2.17	42	0.79	80	1.57
CEBAS	6	0.17	5	0.13	8	0.22	5	0.13	4	0.10	20	0.50	18	0.44	8	0.19	13	0.37	10	0.30	27	0.82
EEAD	1	0.11	3	0.23	5	0.29	2	0.10	5	0.25	7	0.39	9	0.43	2	0.09	9	0.40	11	0.55	12	0.57
EELM	0	0.00	0	0.00	4	0.67	0	0.00	0	0.00	0	0.00	8	1.14	0	0.00	5	0.83	10	1.43	2	0.25
EEZ	8	0.21	13	0.32	15	0.35	0	0.00	26	0.54	24	0.49	40	0.86	27	0.52	60	1.15	30	0.57	24	0.44
IIAG	4	0.36	2	0.17	1	0.09	0	0.00	0	0.00	2	0.13	1	0.07	3	0.20	5	0.38	6	0.50	8	0.6
IRNAS	2	0.07	0	0.00	3	0.10	3	0.11	8	0.20	15	0.33	41	1.46	36	1.28	9	0.32	33	1.18	11	0.65
IRNASA	17	0.74	10	0.42	12	0.50	2	0.08	13	0.56	8	0.38	5	0.24	32	1.52	34	1.70	26	1.44	27	1.42
TOTAL	56	0.31	49	0.23	59	0.28	28	0.13	71	0.31	101	0.44	149	0.64	158	0.68	235	0.96	168	0.75	191	0.88

El mayor número de trabajos corresponde a aquellos firmados por tres autores (31%) y en segundo lugar, y con similares porcentajes, figuran los firmados por dos y por cuatro autores (24% y 23% respectivamente). Entre los trabajos publicados en revistas españolas son proporcionalmente más frecuentes los firmados por uno y dos autores, mientras que entre los publicados en revistas extranjeras lo son los de cuatro o más. La evolución del índice de coautoría entre los períodos 1980-1985 y 1990-1995 muestra un fuerte incremento del número de trabajos firmados por cinco o más autores, especialmente en las revistas internacionales de SCI, en la que además se observa un significativo descenso de los firmados por dos.

5. Cooperación científica

5.1 Rasgos generales

Se trata de analizar el número de centros a lo que pertenecen los autores que firman un artículo, en el que al menos figura uno de CSIC perteneciente al Área de CC. Agrarias. Este descriptor pretende evaluar el grado de colaboración, extramuros, ya sea entre centros de la misma institución, ya entre distintos organismos. El valor medio obtenido es de 1,55 centros por trabajo, si bien, la participación ha ido aumentando a lo largo del período considerado, pasando de 1,2 centros/trabajo en 1980 a 1,82 en 1995. Este comportamiento se observa independientemente de que se trate de documentos en revistas españolas o extranjeras. En cualquier caso, el mayor porcentaje de trabajos (56%) tiene un único responsable corporativo, los documentos en los que participan dos centros constituyen el 34%, mientras que el resto de los documentos corresponden casi en su totalidad a publicaciones realizadas por investigadores de tres centros (9%).

La variación en el número de instituciones participantes, se ha calculado considerando, en sendos fondos documentales, los artículos publicados durante los períodos 1980-1985 y 1990-1995. En el primero de ellos, destaca el elevado porcentaje de trabajos en los que figura una sola institución (supera el 65%, tanto en revistas españolas como en extranjeras). Este patrón cambia en el segundo período por cuanto, si bien siguen dominando los documentos firmados por autores de un único centro, su porcentaje desciende notablemente en favor de aquellos en los que participan dos o tres.

5.2 Cooperación científica intramuros

El número de trabajos en cooperación entre los distintos centros del CSIC asciende a 1393, lo que supone el 42,6% de la producción total. Los Institutos con mayor número de ellas son el CCMA, EEZ, IRNAS, CEBAS e IRNASA, siendo, entre éstos, IRNAS, EEZ y CEBAS los poseen mayor número de colaboraciones en revistas extranjeras que españolas. La evolución de las cooperaciones a través de ambos fondos documentales muestra que a partir de 1992, las recogidas en revistas extranjeras experimentan un incremento significativo al tiempo que disminuyen sensiblemente las recogidas en revistas españolas. La mayor parte de las colaboraciones intercentros se producen en el seno del mismo Área de CC. Agrarias, siendo CCMA y EEZ los que más publican con otros del A. de Recursos Naturales, al contrario que los institutos de mayor vocación agraria (CEBAS, EEAD, EELM). Ciertos centros también poseen vínculos más estrechos entre sí que con otros. Este es el caso de las cooperaciones entre CCMA e IRNAS. Resulta sorprendente, y poco prometedor que el Instituto de Agricultura Sostenible (IAS), aún siendo un centro de reciente creación y altamente potenciado en su política de personal (mayor número de jóvenes investigadores en plantilla), no realizara colaboración alguna con otros centros de agrarias (al menos hasta 1996).

Resumiendo, en general, el número de trabajos en cooperación entre los centros del CSIC adscritos a ciencias agrarias es escaso. El mayor porcentaje, en este tipo de cooperación, se debe fundamentalmente a la actividad del CCMA, cuyo principal polo de colaboración es el IRNAS. Por su parte estos dos últimos son los que colaboran más con institutos del CSIC adscritos a otras Áreas Científico-Técnicas.

5.3. Evolución de la cooperación intra y extramuros entre 1980 y 1995.

En relación a la producción científica total del área, el porcentaje de cooperaciones ha ido experimentando un crecimiento continuado desde 1980 hasta la actualidad, pasando de un valor de 19,3% en 1980 a 63,2% en 1995, especialmente durante los tres primeros años del período estudiado. No se han apreciado diferencias significativas al comparar revistas españolas y extranjeras. En relación a los recursos humanos, se observa que en el período, 1985-1990, el índice cooperaciones/investigador se mantiene constante, mientras que entre 1991 y 1995 crece ininterrumpidamente. La distribución anual de los trabajos en cooperación demuestra que esta es mayor a nivel nacional (77,6%) que internacional, independientemente de que se aborde entre los propios institutos del CSIC o, se lleve a cabo con personal de otros organismos. En las revistas españolas se encuentran el 62,3% de los trabajos correspondientes a cooperaciones nacionales, mientras que en las revistas extranjeras se recogen el 77,9% de las colaboraciones internacionales.

5.4. Cooperaciones nacionales versus cooperaciones internacionales

Al considerar la evolución de las cooperaciones nacionales e internacionales en revistas españolas y extranjeras, para los períodos 80-85 y 90-95, se detectan diferencias significativas. Las colaboraciones nacionales en revistas españolas muestran una disminución en el segundo período, (-20,9%), mientras que aumentan considerablemente en las revistas extranjeras (+670,0%). Lo mismo es cierto para las cooperaciones internacionales con un porcentaje de cambio de -53,3% en revistas españolas y de +628,0% en revistas internacionales. Las cooperaciones internacionales se han realizado con investigadores de 36 países. La lista de estos últimos se encuentra encabezada por EE.UU. (23,08%) seguida del Reino Unido (15,7%), Alemania (+14,1%, si se consideran conjuntamente las cooperaciones antes y después de su reunificación), Italia (9,6%) y Francia (8,9%).

Resulta interesante analizar la evolución de este descriptor para los países de la vertiente norte de la Cuenca Mediterránea, por cuanto todos ellos mantienen intereses y problemas agrarios comunes suficientes para estimular una cooperación mutua en materia de investigación agraria y medioambiental. Los resultados obtenidos no son todo lo positivos que cabría esperar, ya que los artículos en cooperación con investigadores de los países implicados, principalmente Francia e Italia, tan solo suponen el 19,5% del total.

6. Perfil temático y niveles de investigación

Seguidamente abordaremos el análisis del perfil temático de la investigación realizada en los centros del Área de Ciencias Agrarias, así como el carácter básico y/o aplicado de las mismas. Con tal propósito se ha hecho uso de ambos fondos documentales (bases de datos ICYT y SCI), si bien sus respectivas clasificaciones temáticas no son las mismas. Los artículos de las revistas ICYT, se agruparon de acuerdo con la Nomenclatura Internacional de la UNESCO para la Ciencia y la Tecnología, cuyos códigos son asignados por el productor de la base de datos a cada registro

bibliográfico. En el caso de la base de datos del SCI, se utilizaron los epígrafes temáticos bajo los que CHI Research Inc. agrupa, no los artículos, sino las revistas científicas que la componen este fondo documental. Las diferencias existentes entre estas clasificaciones impiden comparar los perfiles temáticos de ambas colecciones de registros. En cualquier caso, tanto una como otra permiten una primera aproximación a las temáticas abordadas por los investigadores del Área. Conviene tener en cuenta que la clasificación temática definida por el productor de la base de datos SCI distribuye las revistas en «campos» y «subcampos». A título de ejemplo un campo es «Biología» y, un subcampo de este «Agricultura y Ciencias de la Alimentación». Por otra parte, la clasificación utilizada por el productor de la base de datos ICYT, adscribe los documentos a «campos», «disciplinas» y «subdisciplinas». Por ejemplo, un campo es «Ciencias Agrarias», una disciplina «Agronomía» (o las Ciencias del Suelo) y una subdisciplina «Mejora de Cultivos». Lamentablemente, hemos podido comprobar como la clasificación temática del SCI es menos útil que la del ICYT con vistas a valorar la producción en ciencias del suelo. De hecho, la primera ha resultado ser totalmente insuficiente, por lo que sería necesario clasificar los documentos título por título con vistas a poderlos clasificar, por ejemplo, según las secciones temáticas de la ISSS. Esta última tarea está siendo abordada por los firmantes del presente capítulo.

Por lo que respecta a las revistas internacionales recogidas en el SCI, se comprueba que el mayor porcentaje de documentos corresponde a los campos de Biología, que de hecho incluye tanto la agricultura como las CC. Biológicas (54,3%), Biomedicina (17,7%) Ciencias de la Tierra y el Espacio (10,7) y Química (9,8%). Un análisis más específico, a nivel de subcampo, muestra que en Biología destacan Botánica (31%) y Agricultura-Ciencias de la Alimentación (17%); en Biomedicina, Microbiología (5,23%) y Bioquímica-Biología Molecular (4,8%); en Ciencias de la Tierra y el Espacio, Ciencias Medioambientales (6,1%) y Geología (4%); y por último, en Química, Química Analítica (4%) y Química Física (3,5%). El análisis por subcampos científicos muestra como dato significativo que los documentos correspondientes a Ciencias Ambientales aparecen por primera vez en 1986, concentrándose fundamentalmente en los cuatro últimos años del estudio. Este hecho demuestra la reorientación medioambiental de una parte de las plantillas de algunos de los antiguos centros de edafología y agrobiología (CCMA, IRNAS, IRNASA y EEZA, preferentemente). Esta tendencia se desprende también de los perfiles temáticos de los proyectos concedidos por la CICYT durante 1995 (Tabla 13)

La distribución temática de los artículos correspondientes a revistas españolas pone de manifiesto, como era lógico esperar, la elevada producción en Ciencias del Suelo (21,7%). Los documentos pertenecientes a otras disciplinas como Agronomía, Producción Animal y Horticultura muestran unos porcentajes similares, próximos al 12%. El análisis de la evolución anual demuestra un acusado descenso, desde 1986, del número de artículos publicados sobre Ciencias del Suelo y Agronomía. Por el contrario, Horticultura y Producción animal mantienen una producción más constante a lo largo del período analizado. Este hecho resulta revelador, por cuanto pone de manifiesto que la investigación edafológica de nuestro país pudo comenzar a decaer antes de que las autoridades del CSIC decidieran, lamentablemente, suprimir el único órgano de expresión escrita de sus practicantes (Anales de Edafología y Agrobiología).

En cuanto al carácter básico o aplicado de la investigación, se han analizado exclusivamente los registros correspondientes a la base de datos SCI, de acuerdo con la clasificación por niveles de investigación que realizó el CHI Research Inc. en 1993 sobre todo el fondo documental cubierto

por el SCI. Estos permiten agrupar las revistas, y por extensión la producción científica que recogen, en las cuatro categorías siguientes:

- Nivel 4: Investigación científica básica. Revistas tipo: Phytochemistry, Physiologia Plantarum
 Nivel 3: Investigación aplicada. Revistas tipo: Phytopathology, Journal of Plant Nutrition
 Nivel 2: Ingeniería y Tecnología. Revistas tipo: Plant and Soil, Canadian Plant Disease
 Nivel 1: Tecnología aplicada. Revistas tipo: Scientia Horticulturae, Horticulture

La Investigación científica básica abarca el 40% de los documentos y corresponde, fundamentalmente, a Biología Vegetal, Bioquímica, Biología Molecular y Microbiología. La Investigación aplicada comprende el 23% de la producción, y engloba también a la actividad desarrollada en Biología Vegetal, Agricultura-Ciencias de la Alimentación, Química Analítica y Química Física. Por su parte el nivel de Ingeniería y tecnología representa casi el 30% de los artículos publicados e incluye, en gran medida, a la investigación en Agricultura-Ciencias de la Alimentación, Ciencias Ambientales y Biología Vegetal. Finalmente, la Tecnología aplicada tan solo contribuye en un 2% a la producción del Área.

A fin de determinar los posibles cambios cuantitativos experimentados en la investigación básica y aplicada, se han comparado los perfiles correspondientes a los seis primeros y seis últimos años del período considerado. La distribución de la producción científica por niveles de investigación es muy semejante en ambos sexenios, si bien para el último, se observa un ligero aumento del porcentaje de documentos relativos a la investigación correspondiente a los niveles 3 y 4. No ha sido posible llevar a cabo un análisis equivalente sobre la producción científica recogida en revistas españolas ICYT, ya que esta base de datos no contiene una clasificación semejante. Estos datos revelan que, a pesar de las reiteradas demandas de los responsables de la política científica española y comunitaria, no se ha logrado estimular una verdadera investigación encaminada a potenciar el desarrollo tecnológico.

Tabla 13.

Proyectos Aprobados Durante 1995 por el Plan Nacional de I+D						
	CC. Agrarias			M. Ambiente y R. Nat	Clima	Antártida
	Agricultura Selvicultura	Ganadería Acuicultura	Infraestructura/ Petri			
total	80	36	30/14	119	37	11
SIC	26	4	7/7	36	8	5
rea CC. Agrarias	22	1	6	8	3	0
. Edaf. Agrobiol.	16	1	4	8	3	0
tras Áreas CSIC	4	3	1	28	5	5
CMA	2	0	0/0	2	3	0
RNAS	3	0	0/0	1	0	0
RNASA	0	0	0/0	1	0	0
EZ	2	1	0/0	1	0	0
EBAS	5	0	0/1	3	0	0
EAD	2	0	3/0	0	0	0
ELM	4	0	1/0	0	0	0
IAG	0	0	0/0	0	0	0
BG	1	0	0/0	0	0	0

7. Revistas científicas

De 1980 a 1995, los investigadores del Área de CC. Agrarias han publicado sus artículos en 470 revistas diferentes, de las cuales 319 eran internacionales e incluidas en el SCI, (1305 documentos), y 151 españolas (1926 documentos). Estos datos ponen de manifiesto el mayor grado de dispersión de los documentos en revistas extranjeras. Sin embargo tan solo 26 revistas (14 españolas) recogían el 50% de los trabajos publicados. La producción científica recogida en estas revistas españolas constituyen el 39% del total de registros analizados. La relación está encabezada por *Anales de Edafología y Agrobiología*, *Anuario del Centro de Edafología y Biología Aplicada de Salamanca* y *Anales de la Estación Experimental Aula Dei* editadas, respectivamente por el Centro de Ciencias Medioambientales, Centro de Edafología y Biología Aplicada de Salamanca y por la Estación Experimental Aula Dei. Estas, a finales de los ochenta principio de los noventa suspendieron su edición. De estos datos se desprende que, todos los antiguos centros de edafología y agrobiología publicaban mayoritariamente en la primera de las revistas citadas, con la excepción de aquellos centros que disponían de su propio órgano para la difusión de resultados en la comunidad científica española. En cualquier caso, la segunda revista más utilizada por los investigadores del IRNASA también era *Anales de Edafología y Agrobiología*. Por tanto la supresión de este último título obligó a reorganizar toda la política de publicaciones de los investigadores del Área, y no solo la de los edafólogos.

Entre las revistas extranjeras más utilizadas se encuentran *Physiologia Plantarum*, *Science of the Total Environment*, *Phytochemistry* y *Plant and Soil*, que en conjunto representan el 5,2% de la producción científica total y el 11,6% de la correspondiente a la producción recogida en revistas SCI. Sin embargo estos datos pueden dar lugar a confusión sobre los hábitos de publicación si no se tienen en cuenta algunos aspectos adicionales. Por ejemplo, durante 1989 los investigadores de los antiguos centros de edafología y agrobiología publicaron una cifra anormalmente alta de artículos (12) en *Science of the Total Environment*. Todos ellos versan fundamentalmente sobre sustancias húmicas. Se trata de contribuciones presentadas a un Congreso Internacional celebrado en España (Matalascañas) sobre el tema, que posteriormente fueron publicadas por la citada revista del SCI. Debido a las presiones ejercidas por los investigadores que se encuentran sometidos al imperativo de "publicar o perecer", algunas de las revistas incluidas en la base de datos del SCI acceden a este tipo de iniciativas. Las vías lógicas de difusión de los resultados de Congresos y Workshops son otras bien distintas (proceedings, libros, suplementos o números especiales de revistas, etc.), ninguna de las cuales da lugar a su inclusión en la BD SCI. Frecuentemente, los referees de estos "proceedings encubiertos" suelen ser más benevolentes que los que evalúan las contribuciones que llegan por los conductos normales.

Seguidamente intentaremos sintetizar algunos de los rasgos más relevantes acerca de la utilización de revistas españolas y extranjeras por parte de los investigadores de los centros del Área con una mayor producción científica global: CCMA, CEBAS, EEZ, IRNASA, IRNAS y EEAD.

-Centro de Ciencias Medioambientales (CCMA): 616 trabajos publicados en 166 revistas. El núcleo está constituido por nueve títulos, de los cuales siete son españoles y dos internacionales (*Nematológica* y *Rev. Ecol. Biol. Sol/European J. Soil Biol.*), conteniendo respectivamente 292 y 23 trabajos. La revista *Anales de Edafología y Agrobiología/ Suelo y Planta*, recoge el 36% de la producción total del centro.

-Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura (CEBAS): 516 trabajos en 108 títulos de revista. Nueve de éstos constituyen el núcleo, de los que cinco son revistas españolas y cuatro

extranjeras (Phytochemistry, J. Horticultural Sci, J. Plant Nutrition y Plant & Soil), con 188 y 67 trabajos respectivamente. Como en el caso anterior, Anales de Edafología y Agrobiología es la revistas más utilizada y recoge el 22% de su producción.

-Estación Experimental del Zaidín (EEZ): 626 trabajos en 172 revistas. El núcleo lo constituyen diecinueve títulos, de los que seis son españoles y trece extranjeros, (por orden decreciente con más de 13 documentos/revista aparecen: *Physiologia Plantarum*, *Plant Physiology*, *New Phytologists*, *Plant & Soil*, *J. Plant Physiology* and *J. Bacteriology*), conteniendo respectivamente, 149 y 145 trabajos. Anales de Edafología y Agrobiología recoge el 17,2% de la producción.

-Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Salamanca (IRNASA): 383 trabajos en 81 títulos de revista. El núcleo está formado por tres revistas españolas. Anuario. Centro de Edafología y Biología Aplicada. CSIC (Salamanca), recoge el 30% de la producción, y Anales de Edafología y Agrobiología el 13,5%. Las Revistas de la BD SCI más utilizadas (al menos 4 artículos en el período considero) son: *Communication in Soil Sci. & Plant Analysis*, *Clay Minerals*, *Chemosphere* and *Physiologia Plantarum*

-Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla (IRNAS): 373 trabajos en 121 revistas. El núcleo lo componen ocho títulos, de los que tres son españoles y cinco extranjeros (*Sci. Total Environment*, *Organic Geochemistry*, *Soil Sci*, *J. Analytical and Applied Pyrolysis* y *Plant Molecular Biol.*), con una producción de 88 y 69 documentos respectivamente. Anales de Edafología y Agrobiología recoge el 12,9% de la producción.

-Estación Experimental Aula Dei (EEAD): 219 trabajos en 53 revistas. El núcleo lo conforman dos títulos, uno español y uno extranjero (*J. Plant Nutrition*), cuya respectiva producción es de 103 y 13 documentos. El 47% de la producción total está recogida en la revista editada por el propio centro (Anales de la Estación Experimental Aula Dei).

En primer lugar cabe destacar el papel capital desempeñado, antes de su definitiva desaparición, en 1992, de la revista Anales de Edafología y Agrobiología/Suelo y Planta, como vehículo de difusión de la investigación realizada en los centros de Ciencias Agrarias del CSIC. Sin embargo, esta publicación también ha constituido el principal vehículo de comunicación, como mínimo, para los practicantes de las ciencias del suelo de las Universidades. De hecho, su eliminación causó reiteradas protestas por la Directiva de la Soc. Esp. de CC. del Suelo. Más aún, dado que la contribución de los edafólogos del CSIC a Anales comenzó a declinar seriamente varios años antes de 1992 (tanto por el propio declive de la disciplina en la Institución como por el cambio de hábitos de publicación de sus investigadores), cabe pensar que la difusión de los resultados de la investigación desarrollada en las universidades sufrió un revés igual o más fuerte que en el propio CSIC. De hecho, la mencionada Sociedad ha tenido que enmendar la situación creada, tomando el relevo del CSIC, al iniciar la edición de una nueva revista sobre suelos ("Edafología"). Debe tenerse en cuenta que, a diferencia del CSIC, la autonomía universitaria, junto con la estructura departamental resultante de su actividad docente, ha frenado la decadencia de una disciplina que, de otro modo, hubiera seguido los mismos derroteros que en el CSIC, como consecuencia de la política científica desplegada por el Ministerio en los últimos años.

Otro proceso digno de mención ha consistido en el enorme crecimiento del número de revistas internacionales en donde los investigadores del Área de CC. Agrarias presentan sus resultados. Mientras que en 1980 los investigadores de los antiguos centros de edafología y agrobiología publicaron 32 documentos en 17 títulos, en 1995 aparecieron 118 en 113, respectivamente. Es decir la tasa de crecimiento del número de revistas utilizadas es ostensiblemente mayor que la del número de artículos. Como puede observarse la dispersión es enorme. Si bien es cierto que cada año

aparecen nuevas publicaciones internacionales, no parece lógico que el número de revistas sea prácticamente igual al número de artículos. También es digno de reseñar que los 1327 documentos que aparecen en la BD SCI durante 1980-1995 se distribuyeran entre 291 títulos (Tabla 14). Este hecho dificulta enormemente el análisis de la producción científica por líneas de investigación, así como la evolución seguida durante el período considerado. Aparentemente es como si los investigadores no siguieran ningún patrón, claramente definido, a la hora de presentar los resultados de sus estudios, o que este fuera "publica donde puedas".

En cualquier caso un análisis de las revistas nacionales e internacionales en donde publican sus resultados los investigadores de los antiguos centros de edafología y agrobiología revela que esta dispersión posee unos ciertos patrones subyacentes. En efecto, desde 1980 a 1995 ha aumentado la investigación medioambiental, por un lado, y la que aborda el estudio de procesos bioquímicos, moleculares y genéticos por otro. Paralelamente, se produjo una involución en los ámbitos de la cartografía, génesis, clasificación y fertilidad de suelos. Por su parte, los antiguos equipos de mineralogía de suelos, especialmente los que centraban su atención en las arcillas, han ido paulatinamente reorientándose a la geoquímica y a las interacciones suelo-pesticidas, manteniendo su producción global, y aumentando su visibilidad en la BD SCI.

Tabla 14.

Número de publicaciones y revistas internacionales utilizadas por los investigadores de los antiguos centros de edafología y agrobiología durante el período 1980-1995

Año	Revistas SCI	No de Publicaciones	Ratio Publ/Rev.
1980	17	32	1.88
1981	16	19	1.18
1982	27	32	1.19
1983	20	28	1.40
1984	22	26	1.18
1985	32	42	1.31
1986	37	45	1.22
1987	41	68	1.66
1988	37	57	1.54
1989	35	66	1.89
1990	53	70	1.32
1991	65	100	1.54
1992	75	111	1.48
1993	92	167	1.81
1995	102	184	1.80
1995	112	188	1.68
Total	291	1327	

También merece la pena señalar el diferente nivel de utilización de las revistas españolas y internacionales en los distintos centros estudiados. Por ejemplo, destaca la elevada utilización de las últimas por parte de los investigadores de la EEZ, hecho que está acorde con las directrices dimanantes de la política del CSIC. Así mismo, pueden clasificarse los diferentes centros en función de la temática de las revistas de la BD SCI en las que publican con mayor asiduidad. CEBAS, EEAD, EEZ y EELM se caracterizan por la mayor homogeneidad temática de las investigaciones que se llevan a cabo en su seno. Estos son también los que, en general, durante los últimos años, han experimentado un mayor crecimiento en lo que concierne a su contribución en la BD SCI. De hecho los resultados de estos institutos son publicados preferentemente en revistas del campo Biología y Subcampo botánica. Un análisis más detallado de las temáticas abordadas demuestra que se trata de los centros con mayor vocación agrícola, si bien la EEZ presenta una mayor heterogeneidad temática que los restantes. Por el contrario, CCMA, IRNAS e IRNASA abordan una mayor diversidad de temas, disminuyendo la investigación agraria en detrimento de la mediambiental. El caso del IIAG es diferente, por cuanto es el que presenta una mayor especialización, destacando ante todo su potencial en biología y bioquímica del suelo. Aunque el CCMA parece caracterizarse por la gran diversidad de líneas de investigación que abordan, posee núcleos muy activos tanto en biología y bioquímica del suelo, como en fitopatología. Finalmente cabe señalar que CCMA e IRNAS comparten también el honor de ser los únicos de los antiguos centros de edafología y agrobiología que han logrado presentar sus resultados en revistas de la categoría de Science (3 documentos en total).

8. Conclusiones

La producción científica así como la productividad media de los investigadores del área de Ciencias Agrarias ha experimentado un aumento a partir de 1990. El incremento en la productividad a sido general, si bien cabe destacar el esfuerzo realizado por los científicos del Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura, del Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla y de la Estación Experimental Aula Dei. Este último, destaca además por ser el único en el que este parámetro ha superado durante todo el período considerado la media del área.

Se ha detectado un cierto aislamiento científico a nivel institucional, por cuanto en más de la mitad de los artículos publicados, tan solo figura como entidad corporativa un centro. La situación comienza a corregirse a partir de 1990, cuando el número de documentos publicados con la participación de dos y tres instituciones incrementa drásticamente. Este hecho se manifiesta de forma especial en los documentos incluidos en la base de datos SCI, con un fuerte incremento de los artículos firmados por cinco o más científicos. Por el contrario, en revistas nacionales, los trabajos en colaboración tienden a decrecer en los últimos años del estudio. En general, la mayor colaboración entre centros, tanto en revistas españolas como extranjeras, acarrea la intervención de un mayor número de investigadores por artículo. La relación interinstitucional, se establece mayoritariamente a nivel nacional y, especialmente, incumbe a otros centros del CSIC no vinculados al Área de Ciencias Agrarias. Las relaciones internacionales, también han experimentado un fuerte incremento, si bien su contribución aún debe mejorar. Cuantitativamente destacan los artículos publicados con investigadores de Estados Unidos y Reino Unido.

Para la comunidad científica internacional, la visibilidad de los trabajos en colaboración entre grupos españoles, es menor que la correspondiente a los trabajos realizados por éstos con investigadores de otros países. Este hecho se debe a que los primeros han sido publicados

mayoritariamente en revistas españolas, sobre todo en los primeros años del estudio, mientras que los segundos lo hacen de forma usual a través de las revistas internacionales, por lo que pasan a formar parte de la «mainstream literature». Dentro de la base de datos SCI, las Revistas de los subcampos científicos de Botánica y Agricultura-Ciencias de la Alimentación son las que recogen un mayor porcentaje de los artículos publicados por los investigadores CSIC. Los estudios de carácter aplicado y tecnológico están ampliamente representados en la BD SCI, si bien, en los últimos años, incrementa el porcentaje de documentos sobre investigación Básica.

En relación a la producción total del Área de CC. Agrarias, las revistas españolas, han constituido, hasta principios de los noventa, la principal vía de difusión de los resultados de las investigaciones llevadas a cabo en los centros analizados. Entre estas publicaciones destacan por su especial relevancia algunos títulos que en la actualidad ya no están vigentes. Se ha constatado que la gran producción científica en CC. del Suelo, recogida por las revistas españolas. Finalmente, se detecta que la dispersión de los artículos aparecidos en revistas internacionales (muchos títulos) es ostensiblemente mayor que en las nacionales (pocos títulos).

Así pues, los cambios detectados en los hábitos de publicación, pueden interpretarse, por una parte, como una respuesta a la creciente necesidad de publicar en revistas de gran visibilidad como son las del SCI, lo que explicaría el descenso de documentos aparecidos en revistas españolas y el incremento en el índice de coautoría. Por las mismas razones no debe descartarse la posibilidad de que las investigaciones de interés regional y local, no estén en retroceso, sino que se planteen bajo ópticas multidisciplinarias que faciliten su aceptación en revistas científicas de carácter básico cubiertas por el SCI. Este último punto no excluye que los investigadores españoles estén desarrollando en la actualidad trabajos con un mayor interés para la comunidad científica internacional.

LAS CIENCIAS DEL SUELO EN EL CSIC :¿EVOLUCIÓN O INVOLUCIÓN?

1. La crisis de las CC. del Suelo a nivel internacional

Durante los últimos años, se han publicado diversos artículos de opinión en los que se reconoce la crisis que desde la década de los 70 sufre la edafología a nivel internacional (Jacob y Nordt 1991; Hudson, 1992; Miller, 1992 y 1993; Sposito y Reginato 1992; Warkentin, 1992; Notohadiprawiro 1993; Gardner, 1991 y 1993; Greenwood, 1993; Hillel, 1993; Ibáñez et al. 1993; Bouma, 1994; British Soc. Soil Sci, 1994; Bullock, 1994; Yaalon 1997). Básicamente todos coinciden en la caída de la credibilidad de la disciplina y sus practicantes entre los miembros de otras áreas del conocimiento científico, así como entre los responsables de las políticas científicas nacionales e internacionales en cuyas manos está la llave de lo que es prioritario, y en consecuencia de su financiación y promoción. Por tanto, podemos denunciar que se ha encendido la señal de alarma. No debe por tanto extrañar que en un "Guest Editorial" de la revista Soil Sci. Soc. Am. J., Gardner (1993) hable de la necesidad inmediata de pasar a la acción. También existe coincidencia de que, el tradicional matrimonio entre agricultura y CC. del Suelo que, tan útil fue en épocas anteriores (científica, técnica e institucionalmente), se está convirtiendo en un estorbo para el progreso de nuestra disciplina. En otras palabras, mientras para unos pocos edafólogos el futuro se encuentra repleto de oportunidades (p. ej. Greenwood, 1993), para la mayoría se ciernen negros nubarrones en el horizonte (p. ej. Gardner, 1993).

A pesar, y además de la crisis mencionada, actualmente la sociedad ha diversificado

enormemente sus demandas en materia de información edafológica (Ibáñez et al. 1993). Así, en muchos países industrializados, la opinión pública y los gobernantes se encuentran más preocupados por los problemas ambientales que por el incremento de las producciones agrarias (Ibáñez et al. 1993; Yaalon, 1997). De hecho, las nuevas directrices de la Política Agraria Común (PAC) de la UE, con vistas a reducir excedentes y a evitar la contaminación ambiental por productos agroquímicos, priman la reducción de las producciones de las cosechas en lo que se denomina programa de extensificación.

Es en la búsqueda de una nueva identidad para las CC. del Suelo en donde las estrategias propuestas para el cambio divergen, según credos y opiniones de los distintos especialistas. Básicamente, existen dos filosofías claramente diferenciadas. La primera enfatiza la necesidad de transformar una disciplina marcadamente aplicada en otra de carácter básico, dentro del contexto de las CC. de la Tierra. Los partidarios de esta postura proponen incidir en la investigación básica, con vistas a elaborar el corpus doctrinal necesario, así como potenciar la cuantificación y modelización de los procesos edáficos, en consonancia con las tendencias actuales de otras ramas del conocimiento, más o menos afines (Wild, 1989; Sposito y Reginato, 1992; Gardner, 1991; Miller, 1993; Ibáñez et al. 1993). La segunda línea de pensamiento defiende el mantenimiento de la tradicional naturaleza aplicada de la investigación edafológica. Entre los partidarios de esta última actitud también existen diferencias. Así, mientras un grupo de opinión ve su futuro al amparo de la "crisis medioambiental" (erosión, desertificación, lluvia ácida, cambio climático, etc.) (p. ej. Hillel, 1993; Singer y Warkentin 1994), otros lo vislumbran desde una perspectiva agro-ambiental (p. ej. Bouma, 1994), es decir perpetuando la conexión entre CC. del Suelo e investigación agronómica. No nos detendremos aquí a analizar las raíces de la crisis edafológica y menos aún a detallar las posibles estrategias para lograr un cambio de paradigma. Tan solo mentar que, los que pretenden sacralizar la última postura (investigación aplicada) deberían reflexionar y entender que la búsqueda de áreas de investigación en donde encontrar refugio son manifestaciones evidentes de debilidad; soluciones temporales que tan solo legitiman el principio de oportunidad, no los de necesidad y calidad. Si en verdad el suelo es un cuerpo natural, un ente real con sus propias leyes de organización, debe avanzarse en su conocimiento global desde una perspectiva holística. Será esta última estrategia, finalmente, la que permita buscar nuevas soluciones a viejos problemas, encontrar nuevos dominios de aplicación, y legitimar tanto a la disciplina como a sus practicantes (Gardner, 1991 y 1993; Miller, 1993; Yaalon, 1993). Pongamos primero los cimientos, ya sabemos lo que ha significado empezar la casa por el tejado.

2. La crisis de las CC. del Suelo en el CSIC

El CSIC no ha sido ajeno a la crisis de las CC. del Suelo a nivel internacional. Como en otros países de nuestro entorno, la investigación edafológica ha sufrido una pérdida de prestigio, reduciéndose drásticamente su financiación y limitándose la posibilidad de promoción de los investigadores que la abordan. Las causas no deben buscarse en una "caza de brujas" o en un capricho de nuestros responsables en materia de política científica; el origen del proceso es más profundo a la par que simple.

El CSIC ha apostado por abordar lo que viene denominándose "investigación de excelencia" (término que, en cualquier caso, nos parece, como mínimo, presuntuoso), entendiéndose como tal los estudios de interés general para la comunidad científica internacional, así como los encaminados a la innovación tecnológica. Como otros organismos similares de los países de nuestro entorno,

se prima la publicación en revistas de gran visibilidad internacional, la búsqueda de patentes de interés industrial y la capacidad de autofinanciación. Entienden las autoridades del CSIC que la investigación de carácter regional o local debe ser abordada y financiada por organismos de la misma naturaleza, es decir por las CC.AA. Estas directrices no son marcadas por las autoridades del CSIC, sino por instancias ministeriales más altas. De hecho, los Programas del Plan Nacional de I+D financian preferentemente la investigación de interés nacional en función, tanto de su relevancia, como de la productividad en revistas internacionales de los equipos de especialistas que elaboran las propuestas de los proyectos de investigación.

Como hemos podido comprobar en apartados precedentes, la producción científica de los antiguos centros de edafología y agrobiología ha aumentado cuantitativa y cualitativamente, según los cánones de valoración al uso. Sin embargo, esta evolución de los centros ha ido acompañada de una involución de la investigación edafológica. No resulta anecdótico que, seguramente, las líneas de investigación que han logrado superar esta crisis correspondan con aquellas que habitualmente dan lugar a una mayor productividad científica por investigador (p. ej. biología y bioquímica suelo), mientras que aquellas que por su naturaleza no son tan fértiles, han sufrido las consecuencias de unos sistemas de evaluación muy genéricos que no suelen tener en cuenta la idiosincrasia de las distintas ramas del conocimiento científico (p. ej. génesis de suelos). Este modo de proceder atesora sus ventajas, aunque no está exento de limitaciones. Así, por ejemplo, se fomenta el "Efecto San Mateo" (potencia a los equipos más consagrados y/o las líneas de investigación con mayores recursos, en detrimento de los más noveles, menos competitivos, dotados de peores infraestructuras y/o que trabajan en líneas de investigación poco fértiles bajo los cánones actuales), y pone en riesgo la supervivencia de una gran variedad de ramas del conocimiento, que por motivos estructurales, o por su naturaleza, resultan ser actualmente poco competitivas.

Dado que el CSIC se autodefine en su Plan de Actuación 1995-1999, como un OPI caracterizado por su gran pluridisciplinariedad, surge una paradoja o contradicción: los sistemas de evaluación de la actividad científica que priman ante todo la competitividad, sacrifican la pluralidad o diversidad de sus investigaciones mediante la selección natural que surge de forma espontánea. En consecuencia, por desgracia, muchas líneas de investigación en CC. del Suelo se encuentran en vías de extinción en el seno del CSIC, de mantenerse la política científica actual. Pongamos un ejemplo. Una de las muchas maneras mediante las que el sistema vigente estrangula ciertas disciplinas científicas proviene de los sistemas de acceso (oposición) a las plantillas de personal científico investigador. Actualmente, como resultado de la escasez de recursos, los criterios empleados por la mayor parte de las Áreas de Conocimiento Científico-Técnicas, para seleccionar los perfiles de las plazas a ofertar a concurso público, se basan fundamentalmente en la calidad científica de los posibles candidatos (esencialmente número e impacto de sus publicaciones) y en la existencia de una masa crítica suficiente (que puedan concurrir, con posibilidades reales, varios concursantes), salvo contadas excepciones. En el Área de CC. Agrarias, como en otras muchas, raramente aprueban el concurso-oposición investigadores con menos de 12 o 13 artículos en revistas internacionales del SCI. ¿Cuántos jóvenes genetistas del suelo de la SECS han alcanzado este Curriculum Vitae?. Por las mismas razones, que las aquí apuntadas, en el Área de Recursos Naturales, está resultando muy difícil que los especialistas en erosión consigan una plaza (por no citar a los biotaxónomos, etc.), por cuanto la naturaleza de su trabajo no suele dar lugar a publicar con profusión. Quede bien claro que nosotros no defendemos ni atacamos el sistema vigente, tan solo nos limitamos a describir su funcionamiento y analizar las consecuencias en nuestro campo de trabajo.

3. Producción y productividad científica en el CSIC

Resulta enormemente difícil valorar la producción científica del CSIC en el ámbito de las CC. del Suelo con la información disponible. Como ya señalamos en otro apartado, la clasificación de las revistas de la BD SCI, en campos y subcampos, no permite discernir con claridad que artículos se encuentran directamente relacionados con las CC. del suelo. El agrupamiento de los artículos de la BD CICYT, mediante los códigos de la UNESCO, aunque tampoco resulta satisfactorio para los fines perseguidos, al menos ofrece más posibilidades. Nuestra propia base de datos tampoco se ve exenta de limitaciones significativas. En consecuencia, el único modo de poder averiguar con exactitud la contribución del CSIC a las CC. del Suelo consistiría en un análisis, registro por registro, de ambas bases de datos. Mediante este procedimiento, ciertamente arduo y tedioso, podría avanzarse más al permitir clasificar los documentos según las secciones establecidas por la ISSS y, como corolario, por la SECS. Esta tarea aún está por realizar, si bien ya se han informatizado todos los datos. Esperamos poder publicar los resultados obtenidos en un futuro próximo.

Según la BD ICYT, la producción en CC. del suelo cayó drásticamente durante los últimos años, descendiendo de 433 documentos, en el quinquenio 1980-1985, a 32 en el periodo 1990-1995. Sin embargo, resultaría totalmente erróneo precipitarse a extraer conclusiones de estos datos. Debe tenerse en cuenta que la revista *Anales de Edafología y Agrobiología/Suelo y Planta* se suprimió en 1990, como también ocurrió con los *Anuarios de la EEAD* y del *IRNASA* en fechas más o menos próximas. Como ya mentamos, durante este periodo se asistió a un cambio en los hábitos de publicación, por parte de los investigadores del CSIC, como consecuencia de la necesidad imperiosa de revalorizar sus CV. En consecuencia, pueden haber concurrido una serie de cambios no excluyentes: (i) que una buena parte de los resultados de las investigaciones se publicaran en revistas internacionales; (ii) que, en ausencia de revistas nacionales los investigadores se vieran obligados a difundir sus resultados en actas de congresos, volúmenes colectivos, monografías, etc., y (iii) que hayamos asistido a un alarmante descenso en la producción edafológica. En nuestra opinión, lo más probable es que se conjugaran estas tres posibilidades, aunque no podríamos valorar la contribución ejercida por cada una de ellas. Más aún, probablemente, las líneas de investigación incluidas en cada sección de la ISSS pueden haber respondido con distinta intensidad a los distintos factores mencionados.

Como ya indicamos en un apartado anterior, el número de contribuciones de los antiguos institutos de edafología y agrobiología al apartado de libros, monografías y actas de congresos aumentó considerable y bruscamente a partir de 1990. Este hecho apoya la tesis (ii) descrita en el párrafo anterior. Sin embargo, como analizaremos en el siguiente apartado, la participación de los investigadores del CSIC en los cuatro congresos celebrados por la SECS tienden a corroborar la tesis (iii). La tesis (I) se ve difícilmente apoyada por los resultados que pueden extraerse de la BD SCI. En efecto, tras proceder a cuantificar el número de documentos que los investigadores de los antiguos centros de edafología y agrobiología publicaron en revistas internacionales de alta visibilidad (BD SCI), que versan directamente sobre CC. del Suelo (*Soil Science*, *Soil Science Soc. Am. J.*, *J. Soil Science*, *Catena* y *Geoderma*), se observó que a penas se había experimentado crecimiento alguno. Más aún, resulta significativo que la contribución de las mencionadas revistas al conjunto de la producción científica de estos centros (3% en total para el periodo considerado) decayera desde el 8% en el quinquenio 1980-1984 al 3.8% en el sexenio 1985-1990 y, finalmente, al 1.8% en el quinquenio 1991-1995 (Tabla 15). Si adicionalmente contabilizáramos los documentos publicados en revistas de mineralogía (*Clay Minerals*, *Clay and Clay Minerals*, *Acta crystallographica* y *American Mineralogists*) tan solo se alcanzaría una contribución acumulada del

5.32%, ya que los documentos aparecidos en los títulos mencionados constituyen el 2.3% de la producción total. Ligeramente mayor ha sido el número de artículos publicados en revistas de biología y bioquímica del suelo (Soil Biol. & Biochem., Biol. & Fertility of Soils, Rev. Ecol. Biol. Sol., European J. Soil Biol. and Geomicrobiology), ya que entre 1980 y 1995 su peso relativo fue del 5.2%. En resumen, si consideramos que estas revistas son representativas de la actividad científica en CC. del Suelo, aún teniendo en cuenta que existen otros títulos en donde es posible publicar sobre las materias que tratan, llegamos obligatoriamente a la conclusión de que la edafología en el CSIC no ha experimentado evolución positiva alguna, por no especular sobre una más que probable involución.

Número de artículos publicados en las revistas Soil Science, Soil Science Soc. Am. J., J. Soil Science, Catena y Geoderma en el periodo 1980-1995 por los investigadores de los antiguos centros de edafología y agrobiología y su contribución relativa a la producción científica global de los mismos

Por tanto, todo parece apuntar a que la producción científica del CSIC sobre CC. del Suelo ha debido decaer considerablemente durante los últimos años. Dado que las plantillas de los centros implicados han permanecido estables, inferimos que los edafólogos que han ido jubilándose están siendo sustituidos mayoritariamente por investigadores de otros campos, como ya se infería de la tabla en donde se presentaban los perfiles de las altas y bajas del IRNAS. En cualquier caso, serán necesarios estudios más minuciosos, como los mentados con anterioridad, con vistas corroborar o refutar esta hipótesis.

4. Repercusiones de la política del CSIC en la comunidad de edafólogos españoles

Hasta aquí, hemos intentado valorar la contribución del CSIC a la producción científica española en CC. del Suelo. Sin embargo, estos datos, por si solos, apenas nos dicen nada sobre la

Tabla 15

Número de artículos publicados en las revistas Soil Science, Soil Science Soc. Am. J., J. Soil Science, Catena y Geoderma en el periodo 1980-1995 por los investigadores de los antiguos centros de edafología y agrobiología y su contribución relativa a la producción científica global de los mismos

Año	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
Nº artículos	2	1	1	6	1	1	1	2	2	1	7
Contribución (%)	6.3	5.3	3.1	21.4	3.9	2.4	2.2	2.9	3.5	1.5	10.
Año	91	92	93	94	95						
Nº Artículos	2	3	0	3	5						
Contribución (%)	2.0	2.7	0.0	1.6	2.7						

participación de los investigadores de los antiguos centros de edafología y agrobiología en la comunidad de intereses que representa la SECS. Creemos que un análisis de este tipo es de suma importancia para concretar el verdadero papel desempeñado por la Institución en el colectivo de edafólogos españoles.

Con objeto de abordar este tema se ha procedido a analizar la participación de los edafólogos del CSIC en los cuatro Congresos Nacionales de la Ciencia del Suelo, organizados por la SECS hasta la fecha. Más aún, también se ha estudiado la contribución de otros OPIs y de las distintas universidades, así como la distribución de las comunicaciones y ponencias presentadas entre las distintas Secciones en las que la ISSS subdivide la actividad edafológica. Gran parte de estos datos serán motivo de otra publicación. Aquí solo nos detendremos en describir aquella información que ilustre la participación del CSIC.

Como puede observarse en la Tabla (16), la participación activa de los edafólogos del CSIC en los Congresos de la SECS ha decaído potencialmente desde 1988, hasta alcanzar valores testimoniales, tanto en número como en proporción. Estos datos también ponen de manifiesto que las restantes instituciones no universitarias mantienen sus contribuciones estables durante los últimos 12 años. Como corolario, cabe señalar que el peso de la SECS, y seguramente de la edafología española, recae, y seguirá cayendo, sobre la actividad que puedan desarrollar en el futuro los departamentos universitarios.

La situación actual puede generar consecuencias no deseables para la edafología española. Debe tenerse en cuenta que la transferencia de las competencias universitarias a las CC.AA, junto con el desmembramiento de la edafología en el CSIC, deja un vacío institucional a nivel estatal que será difícil de rellenar. Justamente en un periodo en donde las instancias comunitarias implicadas en la recopilación de información edafológica (p. ej. European Soil Bureau) o destinadas a evaluar el estado de degradación de los suelos en Europa (p. ej. European Topic Centre on Soils -ETC/S-, perteneciente a la Agencia Europea de Medio Ambiente) demandan con urgencia la información correspondiente a cada estado miembro, la edafología del CSIC padece la crisis más grave de su historia, poniendo en riesgo cualquier tipo de coordinación a nivel nacional. Resulta como mínimo

Tabla 16

Participación de los edafólogos del CSIC en los Congresos Nacionales de la Ciencia del Suelo (porcentaje de comunicaciones y ponencias que al menos han sido firmadas por un investigador del Organismo)

Institución	Congresos			
	1984	1988	1992	1996
CSIC	48.2	48.1	24.3	8.3
Universidades	56.6	52.8	83.4	83.3
Otros Organismos	7.2	21.6	14.5	19.4

(*) Dado que diversos artículos son firmados por más de una de las tres instituciones señaladas, los porcentajes siempre superan el 100%

paradójico que las autoridades de este Organismo, aún siendo conscientes de la situación actual (generada ante todo por decisiones políticas), decidieran, en octubre de 1994, competir con otros países por la consolidación en España de un centro europeo sobre suelos (el ETC/S). En 1996 la Agencia Europea de Medio Ambiente aprobó la propuesta española y decidió firmar un contrato con el CSIC para otorgándole la responsabilidad de poner en marcha el citado centro en sus instalaciones (CIDE, Valencia).

En la Tabla 17 se expone la contribución de los edafólogos del CSIC a las distintas Secciones reconocidas por la SECS. La participación más numerosa de los investigadores del Organismo, ha recaído tradicionalmente en la Sección de Génesis, Clasificación y Cartografía de suelos. Tenemos sobradas evidencias como para afirmar que se trata de una de las subdisciplinas más castigadas por la política científica del país y del Organismo. Asimismo, el escaso desarrollo de la tecnología de suelos en los centros estudiados queda reflejada en el exiguo número de comunicaciones presentadas a la Sección VI. Este dato induce a pensar que la transferencia de conocimientos de los edafólogos del CSIC al sector privado es muy limitada. Recordemos aquí, que tras las publicaciones en revistas de alta visibilidad, la cooperación con la industria es la actividad más estimada por nuestros evaluadores. Poco más se puede decir, por cuanto los porcentajes del último congreso no son representativos, ya que los investigadores del CSIC tan solo remitieron seis trabajos.

Resumiendo, estos datos al margen de indicar el reiterado declive de las CC. del Suelo en el CSIC, también son un testimonio de los cambios de hábito de los edafólogos del Organismo, que

Tabla 17

Participación de los edafólogos del CSIC en los Congresos Nacionales de la Ciencia del Suelo (porcentaje de comunicaciones y ponencias por secciones de la SECS, que al menos han sido firmadas por un investigador del Organismo)

Secciones	Congresos			
	1984	1988	1992	1996
I. Física del suelo	8	8	8	0
II. Química del suelo	15	6	12	33.3
III. Biología del suelo	22	8	0	0
IV. Fertilidad del suelo y Nutrición de plantas	20	16	16	0
V. Génesis, clasificación y cartografía de suelos	27	28	40	33.3
VI. Tecnología de suelos	0	4	16	0
VII. Mineralogía de Suelos	8	16	4	0
VIII. Ecología del Suelo	0	14	4	33.3

(*) La SECS al margen de las secciones establecidas por la ISSS creó en su momento otra sobre ecología de suelos

responden esencialmente a los principios de economía y reconocimiento. Entendemos por principio de economía a aquel que sirve para maximizar el rendimiento de los recursos captados a la hora de transformarlos en producción científica que sea positivamente valorada bajo los criterios de evaluación y promoción vigentes en un momento dado. Dado que las publicaciones en actas de congresos ni tan siquiera son tenidos en cuenta, si no lo son negativamente, por los responsables de enjuiciar nuestra investigación, no debe extrañar que los científicos intenten destinar sus limitados fondos a otros fines. Debemos recordar aquí que la participación en congresos nacionales y extranjeros ha decaído durante los últimos años en todo el Área de CC. Agrarias. Los Congresos de la SECS no son una excepción. En consecuencia, es muy posible que el aumento del número de contribuciones en capítulos de libros y monografías (para el conjunto de la actividad desarrollada en los antiguos centros de edafología y agrobiología), no obedezca a una mayor participación en este tipo de eventos. Sin embargo, no puede descartarse, con seguridad, que la difusión de los resultados de la investigación edafológica viole esta tendencia más general.

Entendemos por principio de reconocimiento a aquel que induce a que los investigadores decalen su participación hacia aquellos foros que, en un momento dado, tengan mayor prestigio y ofrezcan más oportunidades de publicación en revistas de visibilidad, captación de fondos y prestigio de los practicantes (asistentes). Ya que los problemas ambientales, por ejemplo, ofrecen más posibilidades en todos los aspectos, tampoco debe extrañar que los edafólogos opten por participar activamente en los foros (congresos, workshops, sociedades, grupos de trabajo, etc.) más afines a su actividad, y que incluso, al llegar a formar parte de estas comunidades de intereses, renuncien a su participación en aquellos de los que proceden.

A la luz de estos datos nos preguntamos si tanta política de "excelencia" puede llevarnos, con más frecuencia de la que cabría pensar, a situaciones poco o nada deseables, como la que aquí describimos. Sinceramente, ponemos en duda que los responsables de la política científica nacional valoren positivamente que la colaboración con organismos extranjeros de prestigio tenga como resultado la desconexión con otros nacionales. Debe tenerse en cuenta que, este modo de proceder excluye el deseado "efecto de contagio", entendiéndolo por tal a aquel que induce a que un equipo de investigadores con credenciales de calidad, potencie la competitividad entre los colegas de su especialidad y país. Generar sinergías positivas y no destruirlas debería ser el objetivo a perseguir en cualquier cooperación. Para el caso de la edafología del CSIC, nuestras autoridades parecen haber tirado demasiado de una cuerda muy frágil, y esta se ha roto.

5. Consideraciones finales: El futuro de la edafología en el CSIC

Lamentablemente, en los volúmenes conmemorativos del cincuentenario de la SECS, tan solo podemos concluir que las CC. del Suelo en general, y sobre todo, ciertas de sus subdisciplinas, atraviesan el peor momento de su historia en el CSIC. De hecho, ciertas líneas se encuentran ya al borde de su desaparición (p. ej. génesis de suelos). No es nuestra misión buscar responsables, sino presentar los hechos. Queda por preguntarse ¿qué podemos hacer?; ¿qué argumentos debemos esgrimir para convencer a nuestras autoridades del interés de reactivar la investigación edafológica en el CSIC; bajo la política actual del Organismo (y también del Ministerio), ¿qué tipo de estudios relacionados con nuestra disciplina podrían llevarse a cabo en su seno?

El suelo es un sistema abierto, extremadamente complejo; un cuerpo natural en el que confluyen biosfera, litosfera, atmósfera e hidrosfera. En consecuencia, la comprensión de los procesos edáficos implicados, así como sus sinergías no es tarea fácil. Pero, por las mismas razones, su estudio es esencial para comprender los procesos biogeosféricos. Aún estamos lejos de

comprender adecuadamente su funcionamiento.

Al amparo de la agronomía, la edafología creció, esencialmente, como una ciencia aplicada que pretendía mejorar las producciones agrosilvopastorales. Durante décadas, la mayor parte de la investigación en ciencias del suelo se vió constreñida por estas circunstancias. En gran medida, la agronomía dictó que era prioritario y relevante investigar sobre el funcionamiento del suelo. No debe por tanto extrañar que algunos edafólogos etiqueten bajo el término de "Paradigma Agronómico", la actividad científica desarrollada hasta el momento en las CC. del Suelo. Sin embargo, la sociedad actual demanda, además, otro tipo de información edafológica, que sirva para resolver los problemas que la acucian. Estos últimos son, en esencia, de naturaleza ambiental y afectan también a la agricultura. Nuestros conocimientos sobre el funcionamiento de los suelos, y los procesos implicados, no son suficientes para poder abordar tales requerimientos sociales, desde la óptica de una investigación aplicada. Necesitamos, más que nunca, profundizar en el estudio de los suelos en sí mismos, es decir dedicar más esfuerzos a la investigación básica, antes de poder responder con rigor a nuevas preguntas.

El desarrollo de una teoría edafológica, moderna, cuantitativa, holística, con capacidad de poder predecir el comportamiento de los suelos, mediante la adecuada modelización de los procesos implicados, además de legitimar las CC. del Suelo como una disciplina básica en el ámbito de las CC. de la Tierra, elevaría tanto su reconocimiento, como el de sus practicantes. No se trata tanto de renegar del pasado, de abandonar las aplicaciones agronómicas, como de ampliar sus horizontes. Diversas ramas de saber científico están sufriendo el mismo deterioro de imagen (p. ej. geomorfología, geografía física, etc.). No somos los únicos. Sin embargo, aquellas no han dudado en replantearse su futuro en base a análisis autocríticos, con frecuencia feroces (Gregory, 1985). Incluso la ecología, que alcanzó un gran prestigio durante los años 60 y 70, padece actualmente una crisis profunda, tras el reconocimiento entre sus practicantes del fracaso de la actual teoría ecológica (Peters 1991). Quizás a algunos edafólogos les sorprendan estas aseveraciones sobre la crisis de las CC. del Suelo. No es difícil llegar a estas conclusiones cuando se asiste a foros multidisciplinarios de diversa índole (Grupos de expertos para la valoración de proyectos CICYT o comunitarios, Comité Científico Asesor del CSIC, Comité Español del IGPB, etc.) Como apuntan Jacobs y Nordt (1991): "It appears that pedology has a rather low status among sciences, perhaps lower than we would like to admit". Por tanto, es lógico que Miller (1993) incite a "Pasar a la Acción".

A nuestro entender, uno de los mayores problemas que aquejan a las CC. de la Tierra, y más concretamente a las investigaciones sobre los recursos naturales, estriba en que, actualmente, se consumen muchos más recursos en analizar su degradación (investigación aplicada) que en entender su estructura y dinámica (investigación básica). Esta conclusión es válida a nivel nacional e internacional. Nadie puede poner en duda de que se dispone de muchos más recursos para investigar sobre erosión y contaminación de suelos, que para comprender el funcionamiento del sistema edáfico. El interés que despiertan los problemas ambientales en la opinión pública a llevado a esta paradoja. Una priorización de este calibre resulta pernicioso y poco útil, tanto para el progreso de la ciencia como para resolver las inquietudes sociales. Difícilmente se progresará en la lucha contra la degradación de un recurso si carecemos de los conocimientos necesarios sobre su estructura y funcionamiento. En estas circunstancias cabe esperar el fracaso de muchas líneas de investigación aplicada, así como de los proyectos de restauración que se deriven de sus resultados. En nuestra opinión este es uno de los argumentos que debiéramos utilizar para mentalizar a nuestras autoridades para que inviertan más en investigación básica sobre el sistema suelo.

Otro de los principales problemas para la comunidad de edafólogos proviene del hecho de que

los especialistas de otras disciplinas han sido, hasta la fecha, más sensibles a la hora de abordar los problemas de degradación de los recursos edáficos. Así, por ejemplo, tanto en España como en el extranjero, es más frecuente encontrar a geomorfólogos y geógrafos, que a edafólogos, estudiando la erosión de los suelos. Ya que esta línea de investigación atesora mayor popularidad, sus practicantes también gozan de mayor reconocimiento, promoción y posibilidad de captación de recursos. ¿No sería más lógico que los investigadores de las CC. del Suelo hubieran participado más activamente, cuando no liderado, este tipo de actividades?.

En España, la edafología ha sido tradicionalmente abordada en las Escuelas Politécnicas, (agrónomos preferentemente), así como en las Facultades de Farmacia y Químicas. Mientras las primeras abordan, lógicamente, el estudio de los suelos desde un punto de vista agronómico, las últimas investigaron sobre todo las propiedades químicas de los suelos. Más recientemente, algunas Facultades de CC. Biológicas también lograron albergar Cátedras de Edafología. Evidentemente todas estas alternativas enriquecen una disciplina. Sin embargo, resulta más ocasional la vinculación de la edafología a las Facultades de CC. Geológicas. En un país de fisiografía abrupta, sometido a graves procesos erosivos, en donde la geomorfología es clave para analizar la distribución de los suelos, resulta paradójico el escaso desarrollo que han alcanzado las cooperaciones entre edafólogos y geomorfólogos. Este hecho ha dificultado nuestra integración en los proyectos encaminados a estudiar y cuantificar los procesos de erosión del suelo en el espacio y en el tiempo. Lamentablemente, muchos especialistas en erosión consideran irrelevante la participación de edafólogos en sus investigaciones. ¿Porqué?. Probablemente las responsabilidades recaigan, indiferentemente, sobre las actitudes tomadas por ambos colectivos. La edafología española necesita, imperiosamente, desarrollar perspectivas más geomorfológicas, tanto por razones científicas como estratégicas. Más aún, aunque sus responsables no quieran reconocerlo, los estudios de erosión también se beneficiarían. Resulta más que dudoso que se progrese en el conocimiento de la erosión más allá de un cierto umbral, si no se conoce adecuadamente el funcionamiento del recurso degradado. Debemos recordar que en el contexto del debate suscitado en las revistas *Soil Science*, *Journal of Soil Science* y *Soil Science Society of America Journal*, sobre la necesidad de un cambio de paradigma en ciencias del suelo, diversos edafólogos de prestigio han propuesto articular uno basado en una estrecha imbricación entre suelos y geomorfología (p. ej. Jacob y Nordt, 1991; Hudson, 1992).

Si la problemática ambiental ofrece grandes oportunidades a la investigación edafológica aplicada, el CSIC también adolece de obstáculos para progresar en esta dirección. Este Organismo divide su actividad científica en ocho áreas de conocimiento. Como ya hemos mentado, dos de ellas pueden recoger las investigaciones en CC. del Suelo. Al Área de CC. Agrarias le correspondería tutelar los estudios agrarios y agro-ambientales. Por su parte, el Área de Recursos Naturales debería responsabilizarse de la investigación básica y de diversos problemas de tinte ambiental no directamente relacionados con los sistemas agrosilvopastorales. Sin embargo, no es esto lo que sucede en la actualidad. La Comisión de Área de CC. Agrarias a priorizado otro tipo de problemáticas, tales como la mejora genética, la fitopatología, el estudio fisiológico, bioquímico y molecular de las plantas cultivadas, así como sus respuestas frente a los stress ambientales. Por su parte, la Comisión de Área de Recursos Naturales considera más relevante para la institución potenciar los estudios geofísicos, geoquímicos, ecológicos, biosistemáticos, etc. Las políticas de plazas llevadas a cabo por ambas Comisiones, durante los últimos años así lo corroboran. En consecuencia, los investigadores del CSIC que trabajan sobre aspectos ambientales permanecen en "tierra de nadie". Este hecho resulta paradójico cuando se analizan las prioridades del III Plan Nacional de I+D y las del IV Programa Marco de la UE. Tampoco resulta coherente con las inquietudes sociales.

En su día, el Comité Científico Asesor de la Presidencia debatió la oportunidad de crear el Área de CC. Ambientales. Sin embargo, esta iniciativa fue rechazada por considerarse que la problemática ambiental afectaba a muchas de las Áreas de Conocimiento Científico Técnicas, por lo que articular un Área nueva sería excesivamente complejo. De un modo u otro, el CSIC no ha articulado una verdadera política científica en el tema.

La desaparición de Anales de Edafología y Agrobiología/Suelo y Planta fue, en su momento, muy criticada por parte de los miembros de la SECS. Nosotros también lo lamentamos. Lo que debe entenderse es que no se trató de una política sectaria dirigida contra las Ciencias del Suelo. Las razones fueron de índole bien distinta. Simplemente, con los presupuestos con que cuenta el CSIC, llegó un momento en que se consideró que mantener un gran número de revistas era una carga insoportable, tomándose la decisión de suprimir un buen número de ellas. En cualquier caso, lo que si es cuestionable es que no se tuviera en cuenta que ciertas disciplinas (humanidades a parte) tienen una componente regional que obliga a mantener revistas nacionales. El hecho de la práctica totalidad de los países de UE hayan mantenido este tipo de publicaciones, demuestra la miopía de los responsables de esta decisión. Lo que realmente resulta duro de digerir es que algunos miembros de diversos equipos Presidenciales defendieran tal dislate, argumentando que esta iniciativa impulsaría a más edafólogos del CSIC a publicar en revistas internacionales.

Entre la investigación básica de calidad, que puede y debe ser publicada en revistas internacionales, y la investigación tecnológica, valorada mediante el número de patentes y cooperaciones relevantes con empresas, permanece un hiato que no es considerado por los responsables de la política científica nacional. En el caso de diversos recursos naturales, como el suelo, la demanda de información proviene esencialmente de las administraciones regionales y locales (cartografías temáticas, proyectos de ordenación territorial, restauración ambiental, etc.). ¿Es esta imbricación ciencia-sociedad menos beneficiosa que otras?; si no es así ¿porqué el Ministerio no articula un sistema de valoración de la calidad de estas investigaciones?; y si es así ¿porque los entes autonómicos no se responsabilizan de generar las plantillas necesarias para abordar los estudios que son de su competencia?. Independientemente de las bondades del sistema español de I+D (que las tiene), queda todavía mucho camino por recorrer con vistas a racionalizar la ciencia en España. Hasta el momento las CC. del Suelo se encuentran entre las disciplinas más perjudicadas.

REFERENCIAS

- API, 1992. El Despegue de la Ciencia en España: Realidad o Quimera, *Mundo Científico*, 124: 408-117, API es el acrónimo de la Asociación de personal Investigador del CSIC;
- AYALA, F.J. 1995. La Ciencia española en la última década. *Política Científica*, 43: 5-12.
- BARRÈRE, M. 1990. La investigación científica española vista desde Francia. *Mundo Científico*, 106: 1019-1025.
- BOUMA, J. 1994. Sustainable land use as a future focus for pedology? (a guest editorial). *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 58: 645-646.
- BULLOCK, P. 1994. The need for a paradigm change in soil science in the next century. *Trans. 15th World Cong. Soil Sci.*, Acapulco, Mexico, 9: 427-436.
- BRITISH SOCIETY OF SOIL SCIENCE, 1994. The decline in soil science? *BSSS Newsletter*, 24: 6-7
- CICYT, 1996. *III Plan Nacional de I+D*, CICYT, Madrid, 47 pp.

- CSIC, 1977. La Investigación Científica y el Desarrollo Tecnológico en España: 1967-1974. *Evolución y Comparación con Algunos Países Europeos*. Gabinete Técnico del CSIC, Madrid, 112 p.
- GARCÍA LÓPEZ, E. 1996. ¿Que futuro le espera a la I+D en España?. *Boletín del API del CSIC*, 1996, nº 2, 9-11.
- GARDNER, W.R. 1991. Soil science as a basic science. *Soil Sci.*, 151: 2-6.
- GARDNER, W.R. 1993. A call for action (a guest editorial). *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 57: 1403-1405.
- GARFIELD, E. 1993. *Ciencia en España 1981-1992. La perspectiva de un Experto*. Traducción de la disertación impartida en la Residencia de Estudiantes del CSIC.
- GARFIELD, E. 1994. La ciencia en España desde la Perspectiva de las citaciones (1981-1992). *Arbor*, 147: 111-133.
- GIBBS, W.W. 1995. Ciencia del tercer Mundo, *Investigación y Ciencia*, Diciembre, 70-79.
- GREENWOOD, D.J. 1993. The changing scene of British soil science. *J. Soil Sci.*, 44: 191-207.
- GREGORY, K.J. 1985. *The nature of Physical Geography*. Arnold, 262 p., London.
- HUDSON, H.D. 1992. The soil survey as paradigm-based science. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 56: 836-841.
- IBÁÑEZ, J.J., ZINCK, J.A. AND JIMÉNEZ-BALLESTA, R. 1993. Soil survey: old and new challenges. *ITC Journal*, 1993-1: 7-14. (Holanda).
- IBÁÑEZ, J.J. 1994. *Paradojas, Modas y Contradicciones en la Valoración de la Actividad de I+D: Algunos Comentarios sobre el Caso Español*. Asamblea General de la Asociación del Personal Investigador (API), 23 de febrero de 1994 (conferencia y manuscrito).
- JACOB, J.S. AND NORDT, L.C. 1991. Soil and landscape evolution: a paradigm for pedology. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 55: 1194.
- KATZ J.S. ET AL. (1995). *The Changing Shape of British Science*. Brighton: Science Policy Research Unit, University of Sussex. STEEP Special Report No 3.
- MATO, J.M. 1994. El CSIC que queremos, *Arbor*, 577-578: 21-26.
- MARTÍN PEREDA, 1994. Diálogos sobre la ciencia. Entrevista a Eugene Garfield, Director del Institute for Scientific Information (ISI) de Estados Unidos. *Fronteras de la Ciencia y la Tecnología*, 3: 6-11.
- MILLER, F.P. 1992. Soil science: should we change our paradigm?. *Bull. ISSS* 81: 26-27.
- MILLER, F.P. 1993. Soil science: a scope broader than its identity (A guest editorial). *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 57: 299 and 564.
- NOMA, E., GEE, H.H. AND HARRIS, M. 1986. *Subject classification and influence weights for 3000 journals*. (Computer Horizons) (updated version 1993).
- NOTOHADIPRAWIRO, T. 1993. Rethinking soil science paradigm. In: *New Ways in Soil Science*. *ITC Publ.* Nº. 4, 4-16. ITC, Ghent, Belgium.
- ORTEGA C.; PLAZA L.M.; MARTÍN M.J.; URDÍN M.C. (1992) Spanish scientific and technical journals. State of the art. *Scientometrics*, 24 (1): 21-42.
- PESTAÑA, A. 1995. Un apunte bibliométrico para España. *Investigación y Ciencia*, diciembre: 74-75.
- PESTAÑA, A. 1996. El sistema español de Ciencia y técnica, *Investigación y Ciencia*, diciembre de 1996: 6-13.
- PETERS, R.H. 1991. *A Critique for Ecology*. Cambridge Univ. Press, 366 p. UK.
- QUINTANILLA M.A.; MALTRÁS B. (1992) La estructura de la producción científica en España (1981-1989) y las prioridades del Plan Nacional. *Arbor*, 161: 107-130.
- REGUANT S. (1995) Reflections on scientific evaluation. Some comments on the 8th Conference of the International Federation of Science Editors. *Microbiología SEM*, 11: 99-502.

- REY, J., MARTÍN, M.J., PLAZA, L., IBÁÑEZ, J.J. Y MÉNDEZ, I. 1997. Changes in publishing behavior in response to research policy guidelines: the case of the Spanish Research Council in the field of agronomy. *Sixth International Conference of the International Society for Scientometrics and Infometrics, proceedings 1997*, 351-360 (jerusalem, June 16-19, 1997).
- SANZ L. (1995). *Research actors and the State: research evaluation and evaluation of science and technology policies in Spain*. Madrid: Instituto de Estudios Sociales Avanzados (IESA). Work paper 95-12. 28 pp.
- SANZ E., ARAGÓN I., MÉNDEZ A. (1995). The function of national journals in disseminating applied science. *Journal of Information Science*, 21 (4): 319-323.
- SALVADOR, P. 1996. La ciencia en España durante la etapa socialista: datos para un análisis crítico. *Boletín API del CSIC*, nº 4: 10-11.
- SPOSITO, G. AND REGINATO, R.J. 1992. Opportunities in Basic Soil Science Research. *Soil Sci. Soc. Am.*, Madison, Wisconsin, 109 pp.
- WARKENTIN, B.P. 1992. Soil science for environmental quality: how do we know what we know? *J. Envir. Qual.*, 21: 163-166.
- WILD, A. 1989. Soil scientists as members of the scientific community. *J. Soil Sci.*, 40: 209-221.
- YAALON, D.H. 1997. *Soil science in transition. Soil awares and soil care research strategies* (in press).

Este estudio ha sido financiando gracias a la Acción Especial del CSIC, concedida durante 1996, denominada "Estado Actual y Evolución de la Productividad Científica de los Centros Vinculados a las Áreas de CC. Agrarias y Recursos Naturales con Vistas a su Planificación Científica Durante el Plan de Actuación del CSIC 1995-1999".

LA EDAFOLOGIA EN LA UNIVERSIDAD ESPAÑOLA.

Entendemos que el 50 aniversario de la Sociedad Española de Ciencia del Suelo es un buen momento para hacer una breve síntesis del devenir de la Edafología en la Universidad a lo largo del tiempo. Por eso, hemos recuperado un artículo de Paco Díaz Fierros que expuso en una reunión celebrada en Madrid acerca de Edafología y Sociedad, y que no llegó a publicarse y que podemos titular como la "Edafología en la época prehistórica". Junto a este artículo hemos solicitado que nos envíen unos breves apuntes sobre la Edafología en su Universidad a José M^a Gascó, José M^a Gandullo, Juana González Parra, Raimundo Jiménez, M^a Teresa Filipó, Roque Ortiz, Carmen Antolín, Luis Corral, Nicolás Bellinfante, Pepe Torrent, Felipe Macías y Marisa Tejedor; Carlos Dorronsoro lo ha hecho sobre la Universidad de Salamanca y yo he hecho la de Granada; a todos, muchas gracias.

Somos conscientes que existen más Universidades en donde la Edafología se imparte (Almería, Jaén, Burgos y un largo etcétera) pero entendemos que las Universidades en que realmente la Edafología tiene una Historia son las que incluimos, y ojalá dentro de cincuenta años, cuando otros celebren el centenario, se pueda incluir la historia de la Edafología en *todas* las Universidades de España.

ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN EDAFOLOGÍA EN LA E. T. S. DE INGENIEROS AGRONOMOS Y DE MONTES Y EN EL CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y FORMACIÓN AGRARIA (CIFA) DE CÓRDOBA.

Las enseñanzas de la Edafología en Córdoba comenzaron hacia 1969 cuando el Dr. Gonzalo Cruz Romero fué destinado como investigador del Instituto Nacional de Investigaciones Agronómicas, INIA, a la Estación de los Grandes Regadíos situada en la Alameda del Obispo, en una parte de la cual estaba la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, ETSIA, dependiente de la Universidad de Sevilla, en la que fué nombrado profesor responsable de Edafología y Geología. En los inicios, el Prof. Cruz creó los laboratorios respectivos en ambos Centros, a los que se incorporaron, entre otros nuevos titulados: Rafael Llorca Llorca, Juan Vicente Giráldez Cervera (en la actualidad Catedrático en el Departamento de Agronomía de la ETSIAM) y Pedro González Fernández (en la actualidad investigador del CIFA). Actualmente, la parte del antiguo INIA, que cambió de nombre manteniendo las mismas siglas para ser ahora de investigaciones Agrarias, al englobar la investigación pecuaria y forestal, ha sido transferida a la Comunidad autónoma de Andalucía, y el Centro de Córdoba es el Centro de investigación y formación agraria, CIFA. En este CIFA hay un Departamento de Suelos y riegos en el que hay un laboratorio de Química y fertilidad de suelos y otro de Física de suelos con 2 funcionarios y varios becarios que son insuficientes para atender la demanda de trabajo que la Comunidad tiene en estos campos.

Desde su comienzo los problemas relacionados con la salinidad del suelo, al conocerse en

aquella época, final de los sesenta la importancia del acuífero de la zona Almonte-Marismas para la Agricultura, orientaron la investigación de Córdoba, y se estudiaron la dinámica de los solutos en suelos salinizados por la acción marina, y el comportamiento de los suelos de invernadero regados con aguas salobres. También se inició el estudio del potasio en los suelos arcillosos de la Campiña andaluza. Estas líneas se han mantenido con mayor o menor intensidad, como con prospecciones de sistemas fluviales con sales disueltas, estudio del comportamiento del nitrato y el boro en los suelos de la región, ampliándose a dos temas de mayor urgencia, si cabe, como son la erosión del suelo y la capacidad del suelo para recibir residuos de diverso origen, tales como lodos de depuradora, alpechín y alperujo, lo que unidos al análisis de la conveniencia de sistemas de laboreo reducido para conservar el suelo y reducir costos en lo que se conoce ahora como agricultura autosustentable, completan de forma general la investigación que se lleva a cabo en estos campos en Córdoba. Fruto de todo ello han sido numerosas publicaciones científicas y participación en proyecto de ámbito no sólo regional, sino nacional y europeo.

Paralelamente, la actividad de la llamada Unidad de Edafología del Departamento de Ciencias y Recursos Agrícolas y Forestales en la ETSIAM de la Universidad de Córdoba, se consolida a partir de 1977 cuando se incorpora José Torrent Castellet como Profesor Agregado (Catedrático desde 1979) y, poco tiempo después, Miguel Angel Parra como Profesor Adjunto (más tarde Profesor Titular). Las líneas de trabajo a partir de 1978 se centran en el estudio de la mineralogía de los suelos de regiones mediterráneas, particularmente de los óxidos de hierro, así como de la dinámica del potasio en Vertisoles y de diversos aspectos de génesis de suelos. El grupo de trabajo incorpora a varios doctorandos y sus líneas de investigación se amplían el estudio de la dinámica del fósforo en suelos mediterráneos, así como las interacciones entre óxidos de hierro y fosfato. También se empieza a investigar sobre las relaciones entre color y mineralogía de suelos, con especial énfasis en la aplicación de las teorías del color a materiales térreos y mezclas de minerales. En 1988 se incorpora al equipo Vidal Barrón López de Torre como Profesor Titular. A partir de este año la investigación se extiende al estudio de la relación entre clorosis férrica con las propiedades del suelo, así como al desarrollo de productos encaminados a su prevención. En 1992 se incorpora al grupo M^a del Carmen del Campillo García como Ayudante LRU.

La actividad docente del grupo ha estado determinada por los sucesivos cambios en los planes de estudios. En la actualidad (Plan 1994) se imparten las asignaturas de Geología, Climatología y Edafología (Troncal, titulaciones de Ingeniero Agrónomo e Ingeniero de Montes), Suelos Agrícolas (Optativa, titulación de Ingeniero Agrónomo), Suelos Forestales (Obligatoria, titulación de Ingeniero de Montes), Evaluación de Suelos (Optativa, titulación de Ingeniero Agrónomo), así como de doctorado ("Elaboración de trabajos científicos en ciencias agrarias", "Evaluación de la fertilidad de los suelos" y "Suelos de áreas mediterráneas").

En los últimos 20 años, el grupo ha publicado más de 50 artículos científicos en revistas de circulación e impacto internacional, realizado numerosas comunicaciones a congresos y registrando una patente para la prevención de la clorosis férrica. Todo ello ha sido posible gracias a los aproximadamente 20 proyectos y convenios de investigación de CICYT, Unión Europea, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Junta de Andalucía y diversas empresas nacionales y extranjeras. La investigación actual se centra en la dinámica del fosfato en relación con mineralogía de suelo y la clorosis férrica en olivar (predicción y prevención), con también interés en diversos aspectos de génesis, color y fertilidad de suelos.

LA EDAFOLOGIA EN LA UNIVERSIDAD DE GRANADA

Los estudios de Edafología en la Universidad de Granada comienzan en el año 1946 en el que la asignatura Mineralogía y zoología que se impartían en la Facultad de Farmacia se desdobló, de acuerdo con la orden Ministerial 1341/46, en dos materias: Parasitología Animal y Geología Aplicada. Esta última comprende las disciplinas de Mineralogía, Petrografía, Hidrología y Edafología. El Prof D. Carlos Rodríguez López-Neyra, antiguo Titular de la disciplina de Mineralogía y Zoología, ocupó la Cátedra de Parasitología y el Prof D. Angel Hoyos de Castro obtuvo la plaza de Catedrático de Geología Aplicada de la Facultad de Farmacia de Granada.

La labor del Prof Hoyos de Castro en la Facultad de Farmacia de Granada fué inmensa; él se encontró con nada en la Facultad y a base de ilusión y trabajo creó un grupo que desarrolló una labor extraordinariamente meritoria y más si consideramos que, al principio, ni siquiera tenían laboratorio propio ya que ocupaba uno cedido por el Prof. D. José Dorronsoro. Es de destacar entre sus primeros colaboradores los Prof Julio Rodríguez Martínez que luego fué Ministro de Educación Nacional, Miguel Delgado Rodríguez, que luego sería su sucesor en la Cátedra de Granada y, el hoy homenajeado, Prof Luís J. Alías Pérez, Catedrático de la Universidad de Murcia. Las líneas de investigación principales de aquella época fueron la Química y sobre todo, la Mineralogía de Suelos.

En 1962 el Prof. Hoyos de Castro se trasladó a la Facultad de Farmacia de la Universidad Complutense de Madrid y en 1963 fué ocupada la Cátedra de Granada, como ya hemos indicado anteriormente, por el Prof M. Delgado. La llegada de éste trajo consigo un ligero cambio en las líneas de investigación y así se desarrolló rápidamente la Micromorfología de Suelos, como soporte para la Génesis y Cartografía de Suelos.

El plan de estudios de la Licenciatura de Farmacia cambia en el año 1973 y así desaparece la Geología Aplicada; en su lugar encontramos una Geología General en primer curso y definitivamente la Edafología en 4º Curso de la Licenciatura, si bien esta última con carácter optativo.

En 1970 la Sección de Geológicas de la Facultad de Ciencias decidió incluir en su plan de estudios una Edafología General y una Génesis, Clasificación y Cartografía de Suelos, ambas con carácter optativo en 4º y 5º Curso de carrera, respectivamente.

Varios años después la Sección de Biológicas también consideró oportuno abrir su curriculum a las disciplinas de Ciencia del Suelo y así en 1973 dotó las asignaturas de Edafología y Química Agrícola, ambas también con carácter optativo en los cursos 4º y 5º de dicha Licenciatura y en 1980 solicitó la dotación de una cátedra de Edafología para la Facultad de Ciencias que se cubrió en Enero de 1982 por el Prof José Aguilar Ruiz, discípulo del Prof. Delgado.

En los años setenta tuvo lugar la creación de los Colegios Universitarios de Jaén y Almería adscritos a la Universidad de Granada y donde también se desarrolló la disciplina, de forma que hoy día la Universidad de Almería segregada de la de Granada, posee un Dpto de Edafología y Química Agrícola constituido por más de 10 Profesores Titulares de Edafología y que representa uno de los Departamentos más numerosos de dicha Universidad. Imparte cursos de Edafología, Análisis y Evaluación de Suelos en los currícula de Ingeniero Superior y Técnico Agrícola.

Poco tiempo después con la llegada de la L.R.U. se constituye el Departamento de Edafología y Química Agrícola de la Universidad de Granada, constituido en un principio por dos Catedráticos y diez Profesores Titulares, y que se encargaba de la Edafología y Ciencias afines en las facultades de Farmacia y Ciencias, y dentro de ésta, en las secciones de Biológicas y Geológicas.

Unos años más tarde se produce la jubilación del Prof. M. Delgado y le sustituye el Prof. Carlos Dorronsoro, y al año siguiente se crea una nueva Cátedra en la Facultad de Farmacia que la ocupa el Prof. Rafael Delgado Calvo-Flores, ambos discípulos del ya citado profesor.

En el año 1994 se crean los estudios de Ciencias Ambientales ubicados en la Facultad de Ciencias y en los que el Dpto de Edafología tiene un importante peso específico.

Por último señalar que a 24 de Septiembre de 1997, el Dpto está constituido por los Catedráticos José Aguilar, Carlos Dorronsoro y Rafael Delgado y los Prof. Titulares Cayetano Sierra, Eduardo Ortega, Mariano Simón, Inmaculada Saura, Juan Fernández, Trinidad Rodríguez, Gabriel Delgado, Inés García, Jesús Párraga, Encarnación Gámiz, Antonio Roca y la Prof. Asociada Emilia Fernández.

Las enseñanzas que imparte el Dpto son: Edafología, Génesis y Cartografía de Suelos, El Medio Físico, Gestión de Suelos, Química Agrícola, Geología General, Geofarmacia y Producción Vegetal correspondientes a las Licenciaturas de Farmacia, Biológicas, Geológicas, Medio Ambiente y Tecnología de los Alimentos. La docencia del Dpto se completa con un Curso de Doctorado en Ciencia del Suelo.

Por último señalar, que las líneas de investigación principales del Dpto son Cartografía de Suelos, Génesis de Suelos, Evaluación de Suelos, Micromorfología y Mineralogía de Suelos.

LA EDAFOLOGIA EN LA UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Las enseñanzas de Edafología en la Universidad de La Laguna se inician en el Curso Académico 1967/70, en la antigua Facultad de Ciencias, coincidiendo con la primera promoción de la Sección de Biológicas.

No es posible hablar de la implantación de estas enseñanzas sin hacer referencia al Centro de Edafología del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, que creado en 1956, había iniciado y desarrollado los estudios de suelos en Canarias. Enrique Fernández Caldas, su fundador y primer Director, fue igualmente el primer Catedrático de Edafología de la Universidad de La Laguna, el impulsor de la docencia e investigación en este campo y el creador de la escuela edafológica canaria.

A partir del Curso 1969/70, en que se inicia la actividad docente con la asignatura "Edafología", en la Facultad de Ciencias, se van progresivamente ampliando las enseñanzas con otras materias y en otros Centros, hasta llegar a la situación actual, reflejada en el siguiente cuadro.

ENSEÑANZA QUE IMPARTE EL AREA

<i>TITULACION</i>	<i>ASIGNATURAS</i>	<i>PLAN</i>	<i>TRON</i>
Ldo en Biología	Edafología	80,95	O, Op
Génesis y Evolución de Suelos	80		O
	Química Agrícola	80	O
	Clasificación y Cartografía de Suelos	80	O
	Evaluación y Gestión de Suelos	95	Op
	Degradación y Conservación de Suelos	95	Op
	Contaminación Ambiental	95	Op
	Metodología y Técnicas de muestreo y caracterización de suelos	95	T
	Fundamentos de los métodos y Técnicas cromatográficas	95	T
	Fundamentos de los métodos y Técnicas espectroscópicas	95	T
Ldo. en Farmacia	Edafología	84	Op
Contaminación y Saneamiento de Suelos	95		Op
Ecotoxicología	95		Op
LT. Hortofruticultura y Jardinería	Edafología	93	T
Análisis Agrícola	93		Op
Ingeniero Agrónomo	Edafología	94	T
Química Agrícola	94		t
Fertilidad del Suelo y Nutrición Mineral	94		Op
Suelos Tropicales	94		Op
Ldo. Química	Edafología	77	Op
Ingeniero Químico	Introducción a la Ciencia del Suelo	95	Op
Ldo Ciencia y T. de Alimentos	Producción de materia Primas	97	T

O= Obligatoria Op= Optativa T= Troncal

En el Área de Edafología y Química Agrícola, incluida en el Departamento de Edafología y Geología, están adscritos 3 Catedráticos y 5 Titulares de Universidad, 3 Catedráticos y 1 Titular de Escuela Universitaria, 1 Asociado, 2 Laborales y 2 Administrativos, con dependencia en la Facultad de Biología y en el Centro Superior de Ciencias Agrarias.

Respecto a la infraestructura se dispone de un amplio aparataje: Absorción Atómica (2), Analizados Elemental, Cromatógrafo de gases, Difractómetro de Rayos X, Espectrómetro de emisión de plasma inducido, Espectrómetro de masas, Espectrómetro XPS, Microscopio Electrónico de Barrido, Microscopio Electrónico de Transmisión, Microanalizador con Espectrómetro de Rayos X, Sistema de Información Geográfica, etc.

En el ámbito de la investigación las líneas existentes cubren todos los aspectos que abarca la Edafología, con especial incidencia en los suelos de las Islas Canarias y en la caracterización, evaluación, uso y manejo de los suelos de origen volcánico y sus particularidades en ecosistemas insulares. Esta investigación se ha realizado con financiación externa, fundamentalmente a través de proyectos específicos de la D.G.I.C.Y.T., C.L.C.Y.T., Unión Europea, Comunidad Autónoma Canaria y, en menor medida, de empresas privadas, con un monto total, en los últimos 15 años, de alrededor de 300 Mpts, reflejándose los resultados en libros publicados, artículos en revistas nacionales y extranjeras, y en comunicaciones a Congresos, que en los últimos años han sido del orden de 350.

LA EDAFOLOGIA EN LA UNIVERSIDAD DE SALAMANCA

La Edafología comienza a impartirse en la Licenciatura de Ciencias Biológicas, en la década de los años setenta.

Se encarga de la enseñanza el Prof. Antonio García Rodríguez, en un principio, y luego es sustituido por el Prof. Juan Gallardo Lanco, ambos procedentes del CSIC.

Al crearse la Licenciatura de Farmacia se dota la agregación y en 1978 es cubierta por el Prof. Carlos Dorronsoro. En el año 1983 la agregación se transforma en cátedra.

Actualmente dicha cátedra se encuentra vacante al acceder en 1992 a una cátedra de la Universidad de Granada el Prof. Dorronsoro.

Las enseñanzas quedan a cargo de los Profs. Titulares José Antonio Egido Rodríguez, Fernando Santos Francés y M^a Isabel González Hernández y la Profesora Asociada Pilar Alonso Rojo que se encargan de impartir las disciplinas de Edafología, Geología, Química Agrícola y Edafogeográfica, Degradación y Conservación de suelos de las Licenciaturas de Farmacia, Biología, Geología, Geografía y Ciencias Agrarias y Ambientales.

Las principales líneas de investigación desarrolladas son: génesis, química, mineralogía, micromorfología, cartografía y teledetección.

LA EDAFOLOGIA EN LA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA UNIVERSIDAD DE CORDOBA.

La docencia de la Edafología en la Facultad de Ciencias de la Universidad de Córdoba comienza en el curso 1975-76. Como asignaturas obligatoria de 4º curso de la licenciatura de Ciencias Biológicas (Rama Vegetal) (Plan de 1975, B.O.E 6/XI/75 y 9/VII/77) se estudia por primera vez en dicho año académico, siendo profesores responsables los profesores D. Guillermo

Paneque Guerrero, en ese momento decano de la recién estrenada Facultad de Ciencias, y D. Luis Corral Mora. Desde esa fecha hasta el curso 1984-85, desarrollan entre otras ésta actividad docente hasta su traslado a la Universidad de Sevilla en el año 1985. Desde esa fecha hasta la actualidad la docencia de la "Edafología" de C. Biológicas es impartida por el profesor D. Juan Gil Torres.

En el mismo plan docente, en 5º curso, se oferta como asignatura optativa "Ampliación de Edafología", que se imparte desde el curso 1976-77 por el Prof. Corral Mora hasta su traslado a Sevilla en el curso 1984-85. A partir de esa fecha es responsabilidad del Prof. Gil Torres y en el curso 1987-88 sufre una reestructuración en los contenidos pasando a denominarse "Evaluación y Conservación de suelos", siendo el profesor Gil Torres el responsable de su docencia hasta la actualidad.

La puesta en marcha de las nuevas licenciaturas obliga a reestructurar entre otras la de "Biología" cuya docencia troncal incluye en segundo ciclo cinco créditos para "Fundamentos de Edafología Aplicada" y diez optativos también de segundo ciclo repartidos en dos asignaturas denominadas "Edafología" y "Cartografía y Evaluación de Suelos", cuya impartición se iniciará en el curso 1988-89.

Respecto de la licenciatura de "Ciencias Ambientales", puesta en marcha en el curso 1995-96, el área de conocimiento de Edafología y Q. Agrícola tiene asignada la docencia de "El medio Físico I" y "El medio Físico II", asignaturas troncales de primer ciclo que contemplan el conocimiento de la Geodinámica Externa y de la Edafología en un total de doce créditos, así como "Suelos de Clima Mediterráneo", que en segundo ciclo constituye una obligatoria de universidad de seis créditos, además de "La Gestión y Conservación de Suelos", troncal de seis créditos, y "La ordenación del Territorio y el Medio Ambiente" y "La Evaluación del Impacto Ambiental", igualmente troncales de segundo ciclo pero cuya docencia es compartida con otras áreas de conocimiento.

Respecto de la investigación, el departamento desde su inicio ha desarrollado una línea de investigación de suelos, fundamentalmente relacionada con "Química y Fertilidad de Suelos" y "Cartografía y Evaluación de Suelos" que desde el año 1977 le ha permitido participar en unos veinte proyectos de investigación y elaborar más de una decena de Tesis Doctorales y más de treinta Tesis de Licenciatura, así como la publicación en revistas y presentación en congresos de más de un centenar de trabajos y artículos de investigación.

HISTORIA DE LA EDAFOLOGIA EN LA UNIVERSIDAD DE SEVILLA

El primer dato que se tiene sobre la enseñanza de la Edafología en la Universidad de Sevilla, data del bienio 1957-59, donde el prof. D. Francisco González García, catedrático de Química Inorgánica y Director del C.E.B.A.C. del C.S.I.C impartió "Edafología y Química Agrícola", en la Diplomatura (postgrado) de Edafología y Biología Vegetal, en la Facultad de Ciencias.

Con posterioridad, patrocinados por la UNESCO, OEA y Instituto de Cultura Hispánica, Universidad de Sevilla y C.S.I.C, se organizaron los Cursos Internacionales de Edafología y Biología Vegetal, ocupándose de la enseñanza de Edafología el Prof D. Guillermo Paneque Guerrero durante los años desde 1963 a 1975. Durante ese largo período este Profesor fue Colaborador, Investigador y Profesor de Investigación del C.S.I.C. Con posterioridad, y aún hasta este año, han seguido organizándose estos cursos, realizando esta enseñanza diversos profesores del C.S.I.C.

A partir de 1968, y con motivo de la creación en Sevilla de la especialidad Ciencias Biológicas,

dentro del marco de las Facultades de Ciencias, empezó a impartirse Edafología en esta Licenciatura, al frente de la cual estuvo el Prof. D. Guillermo Paneque Guerrero. Los primeros años actuó como profesor contratado, mientras fué dotada la plaza. Tomó posesión como Profesor Agregado de Edafología y Química Agrícola en 1972, en la Facultad de Ciencias. El año 1975 fue trasladado el prof. Paneque a la Universidad de Córdoba, diluyéndose esta enseñanza, en algún profesor del Departamento de Ecología, especialmente al separarse las diversas Facultades de Ciencias. El año 1990 se reemprende la enseñanza de Edafología como asignatura optativa para alumnos de 4 y 5 curso, impartiendo la enseñanza el Prof. Corral Mora hasta 1994, continuando desde entonces el Prof. Bellinfante Crocci.

La enseñanza de la Edafología en la Facultad de Farmacia comenzó el año 1973 con el Prof. Paneque, impartándose en segundo año de la Licenciatura. Al cambiar de residencia este profesor en 1975, desaparece realmente de los estudios de Farmacia en Sevilla hasta 1987 donde se imparte desde entonces como optativa de la rama ecológica para alumnos de 4 curso. Los años 1987-1994 fue profesor L. Corral Mora, y desde entonces N. Bellinfante Crocci.

HISTORIA DE LA EDAFOLOGIA EN LA ESCUELA TECNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE MONTES DE MADRID Y EN EL INSTITUTO FORESTAL DE INVESTIGACIONES Y EXPERIENCIAS.

El nacimiento de la Edafología en la actual Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes de Madrid tuvo lugar cuando este centro era todavía una Escuela Especial cuyos Profesores ocupaban su plaza, por concurso, como un destino del Cuerpo dentro del Ministerio de Agricultura, en algunos casos a tiempo completo pero muchas otras veces simultaneando su trabajo docente con otro destino en el citado Ministerio.

Por ese motivo la historia de la ciencia del suelo en la enseñanza forestal está íntimamente ligada, en sus comienzos, a la del Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias (I.F.I.E.) que dependía de la Dirección General de Montes, Pesca Fluvial y Caza y donde ya existía el magnífico precedente de los trabajos de Emilio Huguet del Villar que fué, sin duda alguna el primer investigador dedicado a los suelos españoles.

La creación de una asignatura de Edafología, en la entonces Escuela Especial, tuvo lugar en el año 1947 como consecuencia de una modificación del Plan de Estudios; se ubicó en el cuarto curso de la carrera con una duración cuatrimestral y fué encargada su docencia, junto con la Geología, al catedrático Antonio Nicolás Isasa. También a mediados de los años cuarenta el Profesor Nicolás Isasa fué nombrado, en el I.F.I.E., Jefe de la Sección de Ecología, Tipos de Montes y Suelos Forestales. Este período fué, pues, el inicio de la enseñanza e investigación forestal en el dominio de la ciencia del suelo.

En aquellos años, la Escuela solamente actuaba como soporte físico para las clases teóricas. Los alumnos daban las prácticas en los laboratorios del I.F.I.E. y en este Instituto se desarrollaban las líneas de investigación que atendían, fundamentalmente, a resolver los problemas de suelos que presentaban los Ingenieros de Montes encargados de los distintos servicios forestales. En esta época surgen, asimismo, las dos obras de Antonio Nicolás que pueden considerarse como pioneras en la edafología forestal española: Formación y destrucción del suelo y Suelos españoles del pino carrasco.

El Plan de Estudios subsiguiente a la Ley de Reforma de las Enseñanzas Técnicas de 1957, sitúa a la Edafología en el segundo año de la carrera con duración anual y cuatro horas semanales de clase.

Las Escuelas especiales se transforman en Escuelas Técnicas Superiores y se independizan totalmente de los respectivos Ministerios profesionales pero, generalmente, los Profesores siguen pudiendo simultanear la enseñanza con sus puestos de investigador en el I.F.I.E. con lo que el Laboratorio de Suelos que se crea en la Escuela solamente es utilizado para las prácticas de los alumnos.

Por entonces aparecen en las Escuelas Técnicas los Profesores Adjuntos y los Profesores Encargados de Laboratorio y en el I.F.I.E. los investigadores contratados con cargo a los Planes de Desarrollo con lo que Antonio Nicolás empieza a contar con nuevos colaboradores (Eduardo Ayuso, José Manuel Gandullo, Otilio Sánchez Palomares y otros).

En 1963 se inician las líneas de investigación que, desde entonces y hasta nuestros días, han constituido el eje fundamental de los edafólogos forestales en nuestro país: relaciones suelo-clima-vegetación. Aparecen las publicaciones "Contribución al estudio de las estaciones forestales", "Los estudios ecológico-selvícolas y los trabajos de repoblación forestal" y, en 1967, el primer tomo de la "Ecología de los pinares españoles" dedicado a la especie *Pinus pinaster* Ait. inaugurando una serie de estudios de investigación sobre la autoecología de las principales especies forestales que tratan de relacionar las características selvícolas de los bosques con variables de fisiografía, clima y suelo.

El Plan de Estudios de 1964 modifica el planteamiento de la hidrología forestal en la Escuela de Montes ampliando el campo de la hidráulica torrencial hacia la hidrología de superficie y conservación de suelos con lo que se separan de la cátedra de Edafología todos los temas de física del suelo relacionados con los problemas de erosión. Ello contribuye aún más a la orientación ecológica en los temas de investigación de los Profesores de Edafología de la Escuela y de los Investigadores del I.F.I.E. con nuevas incorporaciones a los antiguos equipos (Santiago González Alonso, Rafael Serrada y otros) y puesta en marcha de estudios ecológicos de comarcas forestales (Sierra de Guadarrama, Tierras altas de Cantabria y Asturias) y mapas de productividad potencial forestal.

A principios de los años setenta, Antonio Nicolás abandona el I.F.I.E. pasando al Consejo Forestal y en 1980 se jubila como catedrático siendo sustituido por José Manuel Gandullo. La desaparición del I.F.I.E. en 1974 y las rigurosas disposiciones posteriores que tienden a limitar la compatibilidad entre el nuevo Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias y las Escuelas Técnicas obligan a una separación prácticamente total entre los edafólogos forestales que quedan en el I.N.I.A. y los Profesores de la E.T.S. de Ingenieros de Montes de Madrid. Sin embargo esta separación administrativa no impide una coordinación total entre unos y otros que afecta no sólo a las personas procedentes de la situación anterior sino también a quienes se van incorporando a uno u otro equipo (Ramón Elena, Alfredo Blanco, Pilar Carretero, Agustín Rubio, etc).

Así mientras en I.N.I.A. el estudio autoecológico de especies forestales se ha dedicado, estos últimos años, al *Pinus nigra*, *Fagus sylvatica* y *Quercus suber*, en la E.T.S. de Ingenieros de Montes se ha realizado el correspondiente al *Pinus canariensis*. Análogamente, I.N.I.A. efectuaba el estudio edáfico-ecológico de las repoblaciones de pino laricio en Navarra y la clasificación de España en ecorregiones y clases territoriales y la Escuela investigaba la ecología de la *laurisilva* canaria, de la Sierra del Xistral y de los castañares extremeños, cántabro-astures y navarros.

En los comienzos de los años noventa empiezan a surgir otras Escuelas Técnicas Superiores de Ingenieros de Montes en diversos puntos de España y todas ellas, en sus planes de estudio, incorporan la enseñanza de la Edafología, como también empieza a ocurrir en las distintas Escuelas de Ingeniería Técnica Forestal donde, hasta ahora, la ciencia del suelo no era considerada asignatura independiente sino incluida en una materia más amplia. Pero la historia de su docencia

e investigación en el campo de la edafología forestal, aunque muy prometedora, es tan reciente que su reseña lógica habrá de hacerse cuando la Sociedad Española de la Ciencia del Suelo celebre otro aniversario posterior.

DESARROLLO DE LA EDAFOLOGIA EN LA UNIVERSIDAD DE VALENCIA

En el año 1967 se produce la creación de las entonces denominadas Sección Biológicas en las Facultades de Ciencias, en muchas Universidades Españolas. En aquellos lugares donde existían estudios de Farmacia, esta nueva sección de Ciencias se nutrió, sobre todo en Botánica y Edafología, de profesores de aquella Facultad.

En Valencia, la inexistencia de estos estudios, y la creación de la Facultad de Biológicas impulsada por el Director del Parque zoológico determinó que la oferta de especialización se restringiera a las ramas "Fundamental" y "Zoología", durante algunas promociones.

La Edafología, sin embargo, estaba desarrollada en la E.T.S.I. Agrónomos, donde el profesor C. Roquero, y su discípulo J. Gisbert, entre otros, se dedicaban a ella con un carácter muy aplicado a la agricultura. La marcha a Madrid de nuestro anterior presidente de la Ciencia del Suelo, y la llegada del profesor G. Cruz sesgaron las investigaciones hacia las líneas de salinidad, física y agua del suelo, su especialidad, perdiendo el carácter de servicio directo a la sociedad agrícola que caracterizaba su anterior etapa. En el curso 75-76 se incorpora la profesora C. Antolín, edafóloga procedente de Granada, comenzando a trabajar con los adjuntos J. Gisbert y R. Llorca, hasta que dos años más tarde el Decano de la nueva F. de Farmacia, al llegar a 4º Curso su primera promoción, le sugiere su paso como interina a la nueva facultad, hasta que se cubra por oposición la adjunta que a tal fin se había dotado, y en Octubre de 1978 se incorpora a esta plaza el Prof. J. Sánchez, procedente de la Laguna, que pasa en 1989 a ser el único catedrático que hay en la actualidad en la U. de Valencia.

Por otra parte, la F. de Biológicas, comenzó a ofrecer su especialidad Botánica en el mismo curso 1977-78, impartiendo por primera vez la Edafología en esa Facultad el Dr. J.L. Rubio, del C.S.I.C.

Esta implantación relativamente reciente de la Edafología no ha impedido, sin embargo, que esta disciplina en la Comunidad Valenciana, se haya caracterizado por el ímpetu y dinamismo del joven profesorado y de sus colaboradores, que impulsaron, en una etapa carente de medios, el desarrollo de una ciencia, también joven, aportando todo su esfuerzo y dedicación a un mayor conocimiento de la Ciencia del Suelo.

El interés común de ambos investigadores por la problemática medioambiental, la formación del prof. J. Sánchez, pionero en la realización del mapa de suelos y de Capacidad de uso de la Isla de Gran Canaria, y colaborador del Plan COPLACO con el CSIC en Madrid, unido al escaso conocimiento que sobre los suelos y su capacidad se tenía en la Comunidad Valenciana, del que sólo se conocían a pequeña escala los suelos de la P. de Castellón, por la Tesis del Prof. R. Jiménez, determinó que la Edafología Aplicada fuera, dentro del amplio campo de la Ciencia del Suelo, la línea de investigación más desarrollada, sobre todo en el Departamento de Edafología de la F. de Farmacia de la U. de Valencia.

Como primer paso se estableció, conjuntamente con la Unidad de fertilidad de Suelos del I.A.T.A (CSIC) un convenio de colaboración con la Excm. Diputación Provincial de -Valencia, en el año 1982, para realizar la Cartografía Básica, esc. 1:25000 en esta provincia, con el Proyecto "Los Suelos de la Provincia de Valencia: Su Evaluación como Recurso Natural". Esta Cartografía

Básica incluye en su código información sobre el Suelo, litología sobre la que se desarrolla, Capacidad de Uso y grado de Erosión.

El método de Capacidad de Uso y de Erosión utilizados fueron adaptados para la Cuenca Mediterránea por Sánchez y colaboradores, y por Rubio y colaboradores, respectivamente, y se presentaron en el 1º Congreso de la Ciencia del Suelo, en Madrid, en 1984, junto a una serie de mapas donde se aplicaban, después de haber evaluado más de 4000 unidades cartográficas.

El Dpto. de Edafología, posteriormente integrado, con la entrada en vigor de la L.R.U. en el de Biología Vegetal, siguió desarrollando su investigación abarcando mayor temática. Por una parte, y siempre importante, la Cartografía y Evaluación de suelos ha sido objeto de una investigación constante y continua. Por otra, con la obtención de la Titularidad de algunos colaboradores, se diversifica la investigación, aunque la mayoría sigue perteneciendo a la Unidad de Investigación Ciencias de la Tierra, dirigida por J. Sánchez. Se contemplan otros problemas medioambientales como la contaminación por metales pesados, la adición de lodos de depuradora y su repercusión en las propiedades del suelo, la erosión, básicamente estudiando la erosionabilidad del suelo en diferentes condiciones como cultivos, vegetación natural, incendios, repoblaciones, búsqueda de diferentes indicadores de la desertificación... lo que se traduce, bien en Proyectos de Investigación españoles o europeos, y/o en tesis doctorales y sus publicaciones consiguientes. La salinidad, junto a la geomorfología y el estudio de la geología es otro aspecto cuya línea, separada de la anterior Unidad de Investigación, se ha iniciado recientemente en nuestro Departamento.

En el año 1987, se organiza XV Reunión Nacional de la Ciencia del Suelo, con un carácter más aplicado que las precedentes, ofreciendo en sus recorridos de campo la visión no sólo genética de los suelos, sino también su evaluación y su integración en el paisaje, con las cartografías temáticas correspondientes.

Siguiendo la directriz inicial se han realizado los Mapas Geocientíficos de las tres Provincias Valencianas, a esc. 1:200.000 donde, además de ofrecer mapas Descriptivos e Interpretativos (Erosión Actual y Potencial, Riesgos Naturales, Calidad para la Conservación) se llega a una tercera generación, los mapas Orientativos, de Recomendaciones de Uso Agrario, en función de las características y propiedades que se reflejan en los dos tipos primeros de mapas, en colaboración, generalmente, con otras instituciones, como la Universidad de Cantabria, empresas,... y normalmente encargados desde distintos estamentos del gobierno de la Generalitat Valenciana.

Las Consellerías de Medio Ambiente y Obras Públicas, Urbanismo y Transportes, son las más interesadas en nuestros trabajos, esta última, desde el año 1988, está especialmente interesada en conocer y valorar los recursos naturales de la Comunidad Valenciana, y encarga el estudio de los mismos a distintos investigadores. Se elabora información acerca de la Fisiografía, la Capacidad de Uso y la Erosión Actual y Potencial de toda la Comunidad integrándose los resultados en un Sistema de Información Territorial, de próxima publicación.

Se elabora el Mapa Geocientífico de Gran Canaria, en colaboración con la Universidad de las Palmas, y el Cabildo Insular, publicado en 1995.

Se trabaja para la Dirección General de medio Ambiente en el País Vasco en la misma línea de investigación.

La Consellería de Agricultura, Pesca y Alimentación publica las hojas del Proyecto LUCDEME, realizadas por el CSIC y la Universidad de Valencia.

Todo ello seguido de una constante investigación sobre las metodologías de evaluación, integrando cada vez mayor número de parámetros y ajustándolos, de acuerdo a la experiencia adquirida, derivándose también distintas tesis doctorales, incluyendo impacto ambiental o comparando modelos desarrollistas y conservacionistas de Planificación Territorial.

En la actualidad J. Sánchez es asesor del I.T.G. en la cartografía de suelos del Plan Nacional de Cartografía Temática Ambiental, incorporando nuestros nuevos métodos de evaluación.

La Historia de la Edafología en la Universidad de Valencia, para finalizar, se vuelve a imbricar fuertemente con otra instituciones valencianas, en un afán de continuar, de forma conjunta, con la investigación pura, y servir de referencia en los estudios medioambientales de suelos como un servicio a la sociedad, con su participación activa en el recientemente creado Centro de Investigación sobre Desertificación (CIDE), donde la Generalitat Valenciana, la Unidad de Desertificación del CSIC, y la Universidad de Valencia, con varios investigadores de distintos departamentos, entre ellos la Unidad de Investigación de Ciencias de la Tierra, han apostado por los estudios sobre EL SUELO COMO RECURSO NATURAL.

SITUACION ACTUAL DE LA EDAFOLOGIA EN CATALUÑA

Cuando a principios de la década de los cuarenta José M^a Albareda Herrera, a través de la Universidad Complutense de Madrid, introdujo los estudios de Edafología dentro de la Universidad española, e impulsó la creación en Madrid del "Instituto Español de Edafología, Ecología y Fisiología Vegetal", en el seno del CSIC creándose posteriormente Centros Regionales en el territorio español, se instauró en Barcelona una Delegación del mismo. La docencia de la Edafología no se estableció hasta el año 1945, como consecuencia de la Ordenación de la Facultad de Farmacia dentro del marco de la revalorización de los estudios superiores, a través de la Cátedra de Geología Aplicada de la Facultad de Farmacia de la Universidad de Barcelona, que dirigía Lluís Miravittles i Millé.

Desde entonces hasta la década de los ochenta diversas escuelas y facultades dedicaron atención a esta disciplina, destacando como pioneros Arturo Caballero López, Josep Cardús i Aguilar, Jaume Bech i Borrás o Llorenç Marco i Baró.

También durante este período, el Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca de la Generalitat de Catalunya creó en 1982 servicios específicos dedicados al estudio de suelos, o los recibió en transferencia en 1985.

Desde la reciente reforma universitaria hasta el momento actual, la docencia de la Edafología se realiza en seis de las once universidades catalanas, como materia obligatoria u optativa en el primer y/o segundo ciclo de diversas titulaciones. En algunos casos, cuando las directrices del plan de estudios lo determinan, se le asignan pocos créditos y posee un marcado carácter aplicado asociado a aspectos relacionados con producción vegetal (Ciencia y Tecnología de los Alimentos), o con degradación y conservación del medio ambiente (Ciencias Ambientales).

La oferta docente en el tercer ciclo es diversa con aportaciones en diferentes cursos de postgrado. Cabe resaltar que desde 1990 se ha establecido el Programa de Doctorado interuniversitario "Ciencia del Suelo" (Génesis, Uso y Conservación de Suelos)" que está coordinado por tres de las universidades catalanas, pero en el que imparte docencia profesorado adscrito a cinco de ellas.

Finalmente, es preciso destacar que desde la reforma de los planes de estudio y la creación de nuevas titulaciones el escaso personal del Área de Edafología y Química Agrícola, con profesorado ordinario en tan solo cuatro de las universidades catalanas, está desarrollando un enorme esfuerzo docente impartiendo una amplia variedad de asignaturas de carácter aplicado, muchas de ellas optativas o de libre elección. Además hay que considerar las pocas expectativas de expansión de la plantilla y el hecho de que, en ausencia de profesorado del Área, en algunos centros se fomenta que otras áreas afines incorporen de forma encubierta esta disciplina en sus programas. Todo ello

hipoteca el futuro de la docencia de la Ciencia del Suelo en algunos de los centros de enseñanza superior.

BREVE HISTORIA DE LA EDAFOLOGIA EN LA U. AUTONOMA DE MADRID

La Edafología se inicia como asignatura optativa en el 4º curso de la especialidad de Geoquímica de la facultad de Ciencias, división de Químicas, en el curso académico 1972-73. Esta asignatura, en principio optativa, es seguida por los alumnos de la primera promoción de la UAM que iniciaron sus estudios en el curso 1968-69, año en que fue creada la UAM, y que después de seguir el primer ciclo de la licenciatura de Químicas escogieron la especialidad de Geoquímica.

Es justo señalar que tanto la especialidad de Geoquímica en la UAM como la introducción de la Edafología en dicha especialidad fue debida a la iniciativa del prof. Julio Rodríguez Martínez, catedrático de Cristalografía y Mineralogía de la UAM y Director del Departamento de Geología y Geoquímica de la Facultad de Ciencias.

En 1973 se modifica el Plan de estudios de Geoquímica y pasa a ser la Edafología asignatura obligatoria en quinto curso de dicha especialidad.

Poco más tarde se dota la Agregaduría de Edafología, ocupando dicha plaza el Dr. Antonio Guerra Delgado, primero interinamente y en febrero de 1974, como funcionario de carrera tras el preceptivo concurso-oposición. En 1977 la Agregaduría de Edafología se transforma en Cátedra que permanece como tal hasta el presente.

Creada en la Facultad de Ciencias en 1977 la especialidad de Química Agrícola por iniciativa del Prof. Dr. O. Carpena, se aprueba el Plan de estudios donde figuran las Edafología I y II como asignaturas cuatrimestrales en cuarto curso de dicha especialidad. Así mismo figura la asignatura Evaluación y cartografía de suelos en quinto curso.

En la división de Biología figuró la Edafología como asignatura optativa, dentro de la especialidad de Biología Fundamental, y recientemente en la de Ecología. Hoy día también se imparte esta asignatura en el primer curso de la nueva Carrera de Ciencias Ambientales. Incluso como asignatura de doctorado se impartió desde 1977 en la Facultad de Geografía. Dentro de la Facultad de Ciencias se han impartido otros cursos de doctorado como Avances recientes en Génesis y clasificación de suelos, Edafología Aplicada, y Contaminación de suelos, entre otros.

LOS ESTUDIOS DE EDAFOLOGIA EN LA UNIVERSIDAD COMPLUTENSE

Los estudios universitarios de Edafología de la Facultad de Farmacia se inician a partir del año 1944, según Decreto 7-VII-1944, de reforma de planes de estudio, en virtud del cual la asignatura de primer curso "Geología Aplicada" pasa a definirse en su contenido como "Geología Aplicada" (primer cuatrimestre) y "Edafología e Hidrología" (segundo cuatrimestre).

Posteriormente, y por Decreto de 23-X-1953, se estudió "Geología General" en el curso llamado Selectivo (común para todas las Facultades de Ciencias) y "Geología Aplicada" (Mineralogía, Petrografía, Edafología e Hidrología) en el segundo curso de la Licenciatura.

Por Decreto de 5-VI-1965, se contempla la disciplina de "Geología Aplicada" en el curso Selectivo, y por primera vez como asignatura independiente se imparte Edafología en cuarto curso, opción B, junto a la Botánica Ecológica y Fisiología Vegetal.

En el año 1973 (D. 13-XI-1973), se establecen dos ciclos para los estudios de Farmacia. En

el primer ciclo (tres años) se estudia "Edafología" como asignatura obligatoria en segundo curso, quedando "Geología Aplicada" (Cristalografía, Mineralogía e Hidrología) en primer curso.

Dos años más tarde, en 1975 (29-VII-1975) se modifica parte del plan de estudios y queda definitivamente "edafología" como asignatura de cuarto curso en la Rama Ecológica.

En 1993, por Decreto de 24-XI-1993 se establece el último plan de estudios conducente al título de Licenciado en Farmacia. El Departamento de Edafología se encarga de las siguientes asignaturas: Edafología, Contaminación abiótica de suelos, Edafología Aplicada e Hidrología.

En 1994 se introduce pues en España la Edafología como disciplina docente universitaria, al incorporarla a este Plan de Estudios, José María Albareda (Catedrático de Geología Aplicada). A partir de 1953 se estudia en el contexto de Geología Aplicada, conjuntamente con Mineralogía, Petrografía e Hidrología, en segundo curso de la Licenciatura.

La incorporación en 1961 de Hoyos de Castro a la Cátedra de Geología Aplicada de la Facultad de Farmacia de Madrid, marca una etapa, en la que empiezan a ese largo quehacer de la docencia e investigación, algunos de los que hoy forman parte del Departamento de Edafología. Procedente de Granada, el Profesor Hoyos se encuentra en Madrid con una Cátedra que carecía tanto de medios humanos como materiales, ya que la labor investigadora se estaba llevando a cabo fundamentalmente en el Instituto de Edafología (C.S.I.C.). Fue Hoyos de Castro quien, con una gran capacidad, eficacia y constancia, supo dar ejemplo a esas generaciones que acudían a él, guiadas por su extraordinaria personalidad. Así fue la nucleación de lo que hoy es el Departamento de Edafología.

En 1993 tiene lugar la reforma más profunda de Plan de Estudios. Desaparece la Geología Aplicada, después de casi 150 años, período en el que se vió sometida a muchas vicisitudes y a las modificaciones que conlleva el avance de la ciencia.

Se mantiene en el Plan de Estudios de 1993 la Edafología como asignatura de la Rama de Sanidad Ambiental.

La incorporación de Profesorado al Departamento se ha hecho de forma muy paulatina, condicionada por la reducida dotación económica, más que por las propias necesidades docentes. Así en el año 1961, el Profesorado se componía de un Catedrático y en la actualidad (34 años después) es de un Catedrático, siete Profesores Titulares de Universidad y dos Profesores Asociados a tiempo parcial.

LA EDAFOLOGIA EN LA ESCUELA TECNICA SUPERIOR DE INGENIEROS AGRONOMOS DE MADRID

LA EDAFOLOGIA EN LA FORMACION DEL INGENIERO AGRONOMO

La Edafología aparece en el Plan de estudios de 1928, dentro de la asignatura "Cosmografía, Climatología y Edafología", tras la creación de la Sociedad Internacional de la Ciencia del Suelo en la Conferencia de la Comisión Agrogeológica Internacional celebrada en 1924 en Roma, donde se propone la substitución de los términos Agrogeología y Pedología por el de Edafología. La Geología Agrícola, la Química Agrícola, y la Agrología, son los antecedentes de la Edafología en los planes anteriores. En el Plan de 1957 se separa la Climatología de la Edafología, materias que se agrupan otra vez a partir de 1964 y se imparten en tercer curso de carrera. El plan 1997 reduce los créditos troncales de Edafología a 7, menos de la mitad de los existentes en planes anteriores, y descoloca la asignatura, situándola en el primer curso de carrera, cuando los alumnos carecen de los mínimos conocimientos básicos matemáticos, termodinámicos, físicos, químicos, geológicos

y biológicos, que son necesarios para la comprensión de aspectos científicos tan complejos como la génesis de suelos, la relación suelo-agua, el intercambio iónico, las clasificaciones numéricas, etc.

PRODUCCION CIENTIFICO-EDAFOLOGICA EN LA ESCUELA TECNICA SUPERIOR DE INGENIEROS AGRONOMOS DE MADRID

La Edafología alcanza su máximo nivel en la Escuela de Ingenieros Agrónomos en los años cuarenta y cincuenta, cuando los planes de estudio son más exigentes y coinciden con un época dorada del desarrollo de la Ciencia del Suelo en España. El Catedrático Don Cayetano Tamés se inscribe junto a edafólogos de renombre como el Catedrático de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes D. Antonio Nicolás, autor en 1949 de la obra "Formación y destrucción del suelo" y, sobre todo, D. José M^a Albareda, Catedrático del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, que publica "El Suelo" en 1940.

Don Cayetano Tamés publica una treintena de trabajos, entre los que destacan sus aportaciones sobre la relación suelo-agua y la salinidad, asuntos que interesa al espectacular avance del regadío en España. "Aplicación del método de Vageler y Alten a la determinación del agua inerte en diferentes suelos para algunas plantas cultivadas" (Díaz-Muñoz J. y C. Tamés, 1935, Boletín INIA, año I, núm. 1, pp. 67-95, Madrid); "Los Suelos salinos" (Tamés C., 1935, Agricultura, año VII, núm. 74, pp. 87-90); "Cálculo del agua para el riego y empleo de aguas salinas" (Tamés C., 1950, Ministerio de Agricultura, 26 pp., Premio Nacional de Agricultura); "Utilización de aguas saladas para el riego" (Tamés C., 1965, INIA, 138 pp.).

En paralelo o conjuntamente con el Catedrático de Química Agrícola Don Jesús Aguirre, autor de "Tierras y abonos" (Aguirre J., 1929, Agricultura, año I, núm. 6, pp. 304-305), "Un nuevo factor sobre el rendimiento de los suelos" (Agricultura, año I, núm. 12, pp. 748-749), "Suelos, abonos y enmiendas", Ministerio de Agricultura), Tamés continua la tradicional línea de métodos analíticos para el diagnóstico del suelo y su fertilidad: "Análisis de tierras y abonos" (Tamés C. y J. Aguirre, 1946, Ed. Ars, Barcelona, 102 pp.); "Métodos físicos y químicos de laboratorio para el estudio de los suelos y tierras cultivadas" (Tamés C., 1948, INIA, 439 pp.); "Ensayos rápidos semicuantitativos para la caracterización de los suelos con fines agrícolas" (Tamés C., 1948, Boletín INIA núm. 19, pp. 129-204). Esta línea cuenta con antecedentes tan prestigiosos como Don Juan Marcilla, autor de "El método húngaro para la apreciación de la naturaleza caliza de las tierras" (Marcilla J., Boletín de Agricultura Técnica y Económica, año XVII, pp. 556-574); "Instrucciones para el análisis de tierras formuladas por la Estación de Química Agrícola" (Marcilla J., 1940, Ministerio de Agricultura, 91 pp.); "Inoculación de las semillas de leguminosas con bacterias radicícolas" (Marcilla J., Aguirre J., y J. M^a Xandri, 1945, Boletín INIA, núm 12, pp. 229-283).

Los trabajos de génesis y clasificación de suelos, que son impulsados por Tamés: "La influencia del tiempo como factor formador del suelo" (Tamés C., 1946, Boletín INIA, núm. 15, pp. 1-47); "Los grupos principales de suelos de la España Peninsular" (Tamés C., 1958, Dirección General de Agricultura, memoria y mapa), son desarrollados por su sucesor el Catedrático Don Carlos Roquero y por el Profesor Don José M. Ontañón, autor de un mapa de suelos de España, los cuales logran difundir en España la taxonomía americana que se desarrolla a partir de 1960, con cierto adelanto a la clasificación FAO empleada en la Leyenda del Mapa Mundial de Suelos: "Observaciones sobre algunas dificultades en el empleo del sistema USDA-Soil Taxonomy" (Roquero C., 1979, An. Ed. Agrob., XLI, núm. 9-10, pp. 1869-1886).

La preocupación por la conservación de los suelos y el mantenimiento de su capacidad

productiva lleva al Catedrático D. Carlos Roquero a publicar más de una decena de trabajos, entre los que destacan: "La conservación del suelo, problema nacional" (Roquero C., 1954, Ministerio de Agricultura); Estudio sobre la conservación y mejora de la fertilidad de los suelos en España" (Roquero c., 1964, Anales INIA, vol. 13); "L'Erosion et la Conservation du sol" (Curso de Bari); "The potential productivity of mediterranean soils" (Roquero C., 1979, Int. Potash Inst., Bern); "The methodological approach to soil erosion and important land resources evaluation of the European Community" (Giordano A., Bonfils P., Briggs D.J., Menezes E., Roquero C. y Yassoglou N. 1991, Soil technology, Vol. 4, pp. 65-77).

El Departamento de Edafología de la Universidad Politécnica e Madrid, situado en la escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, desarrolla su actividad de docencia e investigación continuando las líneas definidas anteriormente: (1) Manejo de suelos y aguas; (2) Sustratos y suelos artificiales en uso intensivo; (3) Génesis, Clasificación y Evaluación de Suelos; (4) Edafoclima; (5) Degradación y Conservación de Suelos y Aguas. Un conjunto de materias cuyo conocimiento es imprescindible para el desarrollo sostenido y sustentable.

LA EDAFOLOGIA EN LA UNIVERSIDAD DE MURCIA.

En el año 1958 tiene lugar en la Universidad de Murcia el comienzo de la enseñanza de disciplinas pertenecientes a la Ciencia del Suelo con la creación en la Facultad de Ciencias de una especialidad agrícola, constituida por cuatro asignaturas a cursar en el quinto año de la Licenciatura en Ciencias Químicas, de las que el Profesor Dr. Octavio Carpena Artés tuvo a su cargo la de Edafología y Fertilizantes.

El desarrollo de las actividades docentes e investigadoras en este campo, unido al interés creciente del alumnado, motivó la decisión del Ministerio de Educación y Ciencia de crear la cátedra de Química Agrícola, que obtuvo por concurso-oposición el mencionado Profesor Dr. Carpena, recientemente fallecido y a quien tanto deben el avance y progreso de la enseñanza y la investigación, con aportaciones tan importantes como el "Estudio edafológico y agrobiológico de la Huerta de Murcia", que mereció el Premio Nacional de Investigación en 1960, el "Estudio edafológico y agrobiológico de la provincia de Murcia" publicado en 1966 y realizado con la participación, entre otros, de numerosos investigadores del CEBAS y del Profesor Dr. Simón Navarro Blaya quien en 1973 tras el traslado del Dr. Carpena Artés a Madrid, se encargó de la dirección de las enseñanzas de la especialidad de Química Agrícola a partir del curso 1970-71.

En el curso 1969-70 se incorpora a la cátedra de Geología por concurso de traslado el Profesor J. Alías Pérez, originariamente catedrático de Geología Aplicada (Mineralogía, Petrografía, Edafología e Hidrología) por concurso-oposición, dispuesto desde el primer momento a prestar su colaboración en la enseñanza de Edafología y materias de contenido edafológico en la especialidad de Química Agrícola, y a dirigir trabajos de investigación esencialmente relacionados con la Ciencia del Suelo. Con el tiempo, el personal del entonces Departamento de Geología fué impartiendo la enseñanza de asignaturas tales como Génesis y Clasificación de Suelos, Mineralogía de Suelos, Climatología e Hidrología, Edafología (Secciones de Químicas y Biológicas de la Facultad de Ciencias) y Edafología y Edafogeografía (especialidad de Geografía, Facultad de Letras).

El pase del Dr. Alías por concurso de traslado a la recién creada cátedra de Edafología en 1982 y la obtención del Profesor Dr. Roque Ortiz Silla de la segunda cátedra de igual denominación en 1988 han supuesto un paso importante para la consolidación de la enseñanza de Edafología y

mento de Edafología y Química Agrícola creado en 1982 a partir de la LRU e integrando a todos los profesores de la Universidad de Santiago adscritos al área de conocimiento de Edafología y Química Agrícola.

A D. *Francisco Guitián Ojea*, primer director del Departamento y actual profesor emérito, le corresponde el mérito de haber sido el verdadero impulsor y creador de la escuela de edafólogos de Galicia, orientando la formación e investigaciones de los miembros del Departamento no sólo hacia la obtención de los conocimientos sobre el suelo sino también hacia su aplicación práctica en campos muy diversos. Como el mismo señalaba en 1977 los objetivos del grupo de trabajo se sintetizaban en dos direcciones:

1º) Investigar las propiedades, génesis, sistemática y cartografía de los suelos de la zona húmeda española.

2º) Estudiar los problemas concretos que afecten al habitat regional, proponiendo soluciones a los mismos de manera científica y racional y colaborando con aquellas empresas privadas de la región interesadas en la utilización de nuestras conclusiones.

A pesar de los 20 años transcurridos muchos conceptos incluidos en este segundo objetivo todavía no han logrado penetrar con la intensidad que debieran en la Universidad española, pero su aplicación ha permitido al Departamento de Edafología y Química Agrícola de la Universidad de Santiago cubrir un amplio espacio de aplicaciones de las Ciencias del Suelo y realizar una importante tarea multidisciplinar en campos tan diversos como los agronómicos y silvícolas, ambientales, hidrológicos, protección del patrimonio cultural, cerámicas especiales y nuevos materiales, gestión de residuos, ordenación del territorio, recuperación de suelos contaminados y/o degradados, etc, que son, entre otras, las líneas prioritarias de desarrollo de las investigaciones actuales de los miembros del Departamento. Esta vertiente aplicada, ha permitido la colaboración con un gran número de empresas (Calfensa, Río Tinto Patiño, Sargadelos, Idasa, Endesa, Limeisa, Sogama, Pescanova, Calvo, Ence, Gestenga, Ambio,...) y diferentes organismos de la administración estatal, autonómica, provincial y local, sin olvidar que el trabajo científico básico que hace posible estas aplicaciones se ha obtenido a través de la realización de unas 80 Tesis doctorales y más de 700 publicaciones en libros, monografías y revistas especializadas.

SIETE RAZONES PARA HACERSE MIEMBRO DE LA SOCIEDAD ESPAÑOLA DE LA CIENCIA DEL SUELO

- 1.- Para mantener las relaciones profesionales
- 2.- Estimular el crecimiento y desarrollo a nivel profesional
- 3.- Favorecer los encuentros regionales y nacionales
- 4.- Para el tratamiento y discusión de los asuntos de su interés
- 5.- Para la divulgación de los resultados obtenidos en sus trabajos de investigación
- 6.- Para obtener asesoramiento en investigación y educación
- 7.- Por su ámbito internacional

PONENCIAS

TREES, SOILS AND FOOD SECURITY

PEDRO A. SANCHEZ, ROLAND J. BURESH and ROGER R. B. LEAKEY

INTRODUCTION

The continuing threat to the world's land resources is exacerbated by protracted rural poverty and food insecurity in the Third World and wider climatic variations resulting from global warming. During the last decade food security was not a global priority, but studies such as the 2020 Vision (IFPRI 1996) show that rural poverty in the Third World is one of the main global concerns of our time, and that food insecurity is a major factor in rural poverty. Access for all to sufficient and nutritious food is the key to poverty alleviation -this was one of the main outcomes of the 1996 World Food Summit (FAO 1996). Food security encompasses both food production and the ability to purchase food. But calories and protein are not the only factors; nutritional security includes overcoming deficiencies of vitamin A, iron, zinc, iodine and selenium (IFPRI 1996).

Therefore, the three interlinked factors for reversing rural poverty are: income generation, increasing food and nutritional security and protecting the environment.

Although food insecurity occurs throughout the developing world, it is most acute in sub-Saharan Africa -hereinafter referred to as Africa- where per-capita food production continues to decrease, in contrast with increases in other parts of the developing world (FAO 1996). Africa has the highest rate of population growth of any region in the world (2.9 % per year) and

the highest rate (30%) of degradation of usable land (Cleaver & Schreiber 1994). Deficiencies in vitamin A and micronutrients are also acute on this continent (IFPRI 1996). The Malthusian nightmare, although unrealistic at the global scale, could become a reality in Africa.

The bulk of food in Africa is produced on small-scale farms by women. The three main determinants for overcoming rural poverty under these conditions are 1) an enabling policy environment for the smallholder farming sector; 2) reversing soil fertility depletion and 3) intensifying and diversifying land use with high-value products (Sanchez & Leakey 1997).

Attaining these three goals can only be achieved in Africa with modern agricultural practices based on traditional green-revolution approaches (Borlaug & Dowsell 1994; Borlaug 1996) if fertilizers and other farming inputs are available at a price affordable by resource poor farmers. They can also be achieved with agroforestry -the deliberate use of trees on farms as a low input system- a common feature of small-scale farming throughout the tropics. The purpose of this contribution is to discuss the added value of tree-based agricultural systems and link them to the three determinants for poverty alleviation.

IMPACT OF TREES ON SOIL FUNCTIONS

Trees have different impacts from annual crops on soil properties, because of their longer

residence time, larger biomass accumulation and continuous and more extensive root systems. In natural forest stand, nutrients are efficiently cycled with very small inputs and outputs from the systems, the opposite happens; nutrient cycling is limited, while inputs and outputs are large, and the soil is not continuously protected by a plant canopy. Agroforestry encompasses the continuum between these two extremes and emerging hard data show that specific agroforestry systems provide added value to soil processes when the competition for growth resources between the tree and the crop component is adequately managed (Ong & Huxley 1996). Before considering the effects of agroforestry trees on soil properties it is imperative to deal with agronomically successful agroforestry systems.

There are four ways which trees can have beneficial effects on soil properties, crop production and environmental protection. Trees in effective agroforestry systems 1) increase nutrient inputs to the soil; 2) enhance internal cycling, 3) decrease nutrient losses from the soil and 4) provide environmental benefits, these ways are summarized below, based largely on reviews by the authors (Sanchez et al. 1985; Leakey & Newton 1994b; Sanchez 1995; Leakey et al. 1996; Buresh & Tian 1997; Sánchez & Leakey 1997; Sánchez et al. 1997). We focus on nitrogen (N) and phosphorus (P), because these are the main limiting nutrients in smallholder farms in Africa. In contrast to other continents, soil acidity and aluminum toxicity are not widespread constraints in cultivated areas of Africa (Sánchez & Leakey 1997).

a) Increased nutrient inputs

Trees can provide nutrient inputs to crops in agroforestry systems by capturing nutrients from atmospheric deposition, biological nitrogen fixation (BNF) and deep in the subsoil, and storing them in their biomass. Biomass transfers from one site to another also provide nutrient inputs. These nutrients become inputs

to the soil when the tree biomass is added to and is decomposed in the soil. The main processes are BNF, deep nitrate capture and biomass transfer.

(i) Biological nitrogen fixation

Although the magnitude of BNF is methodologically difficult to quantify, overall annual estimates are in the order of 25 to 280 kg N ha⁻¹ yr⁻¹ for leguminous trees (Giller & Wilson 1991). Woody and herbaceous legumes can provide practical means of capturing nitrogen via BNF when grown as fallows in rotation with annual crops, taking advantage of the dry season in subhumid environments when no crops can be grown. Two years of *Sesbania* sesban fallows in Zambia overcome nitrogen deficiencies for three subsequent maize crops (Kwesig & Coe 1994).

There is high genetic variability within tree species in their effectiveness of BNF (Sanginga et al. 1990; 1991; 1994). Phosphorus deficiencies can limit N₂ fixation and growth of N₂-fixing trees. Sanginga et al. (1994, 1995) found large differences in early growth and P-use efficiency among and within N₂ fixing tree species. These results highlight the merit of selecting provenances of N-fixing trees that are tolerant to low available P at an early growth stage.

(ii) Deep nitrate capture

The uptake of nutrients by tree roots not present can be considered an additional nutrient input in agroforestry systems. Such nutrients become an input upon being transferred to the topsoil via tree litter decomposition. Tree roots frequently extend beyond the rooting depth of crops. An exciting dimension has recently been discovered in nitrogen-deficient Nitisols of western Kenya, where mean nitrate levels in six farmers' fields ranged from 70 to 315 kg N ha⁻¹ at 0.5- to 2.0-m depth (Buresh & Tian 1997). The accumulation of subsoil nitrate is attributed to greater formation of nitrate by soil organic matter (SOM) mineralization in the topsoil than the crop can absorb (Mekonnen et al. 1997). The

excess nitrate then leaches to the subsoil where it is sorbed on positively charged clay surfaces, retarding the downward movement and leaching loss of nitrate (Hartemink et al. 1996). Nitrate sorption is well documented in subsoils rich in iron oxides (Kinjo & Pratt 1971). *Sesbania sesban* fallows deplete this pool, thus capturing a resource that was unavailable to the maize crop (Mekonnen et al. 1997).

In soils with high quantities of subsoil nitrate, a N_2 -fixing tree should ideally be able to rapidly take up the subsoil nitrate before it can be leached. When the tree has depleted subsoil nitrate, it should then ideally meet a substantial proportions of its N_2 requirements through biological N fixation.

Under such conditions, agroforestry trees become a biological safety net. How extensive are these soils? There are 260 million hectares of Nitisols (oxic or rhodic Alfisols and Oxisols) and similar soils in Africa that have anion-exchange capacity in the subsoil, where roots of *sesbania* and similar agroforestry trees can penetrate (Sánchez et al. 1997). Assuming that one tenth of them are under cultivation, the magnitude of this resource could be in the order of 3 million tons of nitrate nitrogen, much more than the annual nitrogen fertilizer consumption rate 0.8 million tons of nitrogen in sub-Saharan Africa, excluding South Africa (FAO 1995). We do not yet know the extent to which this resource is renewable. Nevertheless, the utilization of this hitherto unrecognized nitrogen source via its capture by deep rooted trees is an exciting area of research in Africa, as well as in other regions with similar oxidic subsoils.

(iii) Biomass transfer

The leafy biomass of trees is frequently cut from hedges or uncultivated areas and incorporated to crop fields as a source of nutrients in Africa. While the quantities of biomass farmers are able to apply are often sufficient to supply N to a maize crop with a moderate grain yield of 4 tons ha^{-1} , they seldom can supply

sufficient P to that crop (Palm 1995). Leguminous trees are most frequently used as biomass transfer systems but there is increasing evidence that some non-leguminous shrubs may also accumulate high concentrations of nutrients in their biomass. *Tithonia diversifolia*, a common hedge species found at middle elevations throughout East Africa and Southeast Asia has unusually high nutrient concentrations (3.5% N; 0.38% P and 4% K) in its leaf biomass (Gachengo 1996; Niang et al. 1996). These P and K levels are higher than those of commonly used legumes in agroforestry (Palm 1995). Reasons for such high concentrations remain speculative but members of the Compositae family, to which *Tithonia* belongs, have a reputation of being nutrient scavengers.

The processes involved are not presently identified, but may involve the dissolution of inorganic phosphorus, desorption of fixed soil phosphorus by root exudates, organic acids and/or extremely effective mycorrhizal associations. Woody species grown in hedges outside the cultivated fields, therefore, may be able to transform less available organic forms, as well as supply significant quantities of N and K, when their leaves are incorporated into the soil as biomass transfers.

b) Enhanced nutrient cycling

Trees in agroforestry systems can increase the availability of nutrients in the soil through the conversion of nutrients to more labile forms of soil organic matter (SOM). Plants convert inorganic forms of N and P in the soil solution into organic forms in their tissues. The addition of in situ-grown plant material to the soil as litter fall, root decay, green manures, crop residue returns (or animal manures in grazing systems), and its subsequent decomposition results in the formation of organic forms of soil N and P. Mineralization of soil organic N or P converts them once again to nitrates and orthophosphate ions in the soil solution which are readily available to plants. This is the process of cycling.

It is important to distinguish organic cycling from organic inputs. Cycling involves organic materials grown in situ, such as those described in the previous paragraph. They do not add N or P to the soil-plant system, except for additional biological N_2 fixation and capture from below the crop rooting depth, and therefore do not constitute inputs from outside the system. Biomass transfers, composts and manures produced outside the field are the true organic inputs.

Total SOM generally does not relate to crop yields (Sánchez & Miller 1986). Nutrient release from SOM is normally more dependent on its biologically active fractions than on total SOM quantity. Microbial biomass P, light fraction organic N and P and NaOH-extractable organic P appear to be relevant fractions in agroforestry systems (Buresh & Tian 1997).

(i) Soil organic nitrogen

Agroforestry tree species vary greatly in their quality, usually measured by the (lignin + phenolics)/N ratio of their leaves (Palm & Sánchez 1991; Constantinides & Fownes 1994; Schroty et al. 1995; Tian et al. 1995; Jonsson et al. 1996). High-quality materials are readily mineralized while low-quality ones decompose slowly and may eventually form part of soil organic pools. For example, Barrios et al. (1997) found that N availability, as determined by inorganic soil N, N in light fraction SOM, and N mineralization in topsoil was higher in maize plots following improved fallow species with the lowest (lignin + polyphenol)/N ratios in leaf litter in an N-deficient Alfisol in eastern Zambia. *Sesbania sesban* fallows and fertilized maize monoculture resulted in similar inorganic soil N levels, but N mineralization and light fraction N were greater after *S. sesban*. The amount of light fraction N appears to be a sensitive measure of SOM differences among cropping systems and is correlated with N mineralization of the whole soil (Barrios et al. 1996ab). Light fraction SOM can be increased by addition of tree biomass to maize (Barrios et

al. 1996a) and by rotation of maize with planted tree fallows (Barrios et al. 1997). Appropriate agroforestry systems, therefore seem to enhance internal N flows.

(ii) Soil organic phosphorus

Most studies have found little or no benefit of trees in agroforestry systems on inorganic soil P tests (Drechsel et al. 1991; Siaw et al. 1991; Kang et al. 1994; 1997). Methods related to labile soil organic P fractions seem more appropriate for agroforestry systems with little or no inorganic P inputs. For example, *S. sesban* fallows, as compared to continuous unfertilized maize, increased soil P availability, measured by chloroform extractable P and P in light fraction SOM, but had no effect on extractable inorganic soil P (Maroko et al. 1997). *Sesbania sesban* fallows, as compared to continuous unfertilized maize, increases maize yields when P was the limiting nutrient, but they did not eliminate the need for external P inputs to completely overcome the P deficiency.

Some trees and shrubs, but apparently few crop species, have the ability to exude organic acids from its roots or mycorrhizal associations and dissolve inorganic soil phosphates not otherwise available to roots of crop plants (Lajtha & Harrison 1995). Pigeon pea (*Cajanus cajan*) secretes pisinic acid in calcareous soils (Ae et al. 1990; Otani et al. 1996) increasing the plant's phosphorus uptake, while *Inga edulis* is believed to have access to phosphorus not available to maize and beans (Hands et al. 1995). Both these species are legumes, which are known to acidify their rhizosphere in the process on nitrogen fixation. In such cases, organic cycling has the advantage of transforming otherwise unavailable inorganic soil phosphorus into more available organic forms.

Agroforestry will not eliminate the need for P fertilizers on P-deficient soils (Buresh et al. 1997). The integration of organic materials with inorganic P fertilizers, is likely to enhance the availability of P added from inorganic fertilizers (Palm et al. 1997).

There are at present no methods for quantifying nutrient cycling efficiency in agroecosystems and its effects on productivity and sustainability. This is an area that requires further conceptualization, and a start has been made by van Noordwijk (1997) who describes possibilities at various spatial and temporal scales.

c) Decreased nutrient losses from the soil

Losses by runoff, erosion and leaching account for about half of the N, P and K depletion in Africa (Smaling 1993). Agroforestry systems have been found to decrease nutrient losses by runoff and erosion to minimal amounts (Lal 1989a; Young 1989).

The evidence for decreased leaching losses is less comprehensive. Horst et al. (1995) reported that *Leucaena leucocephala* hedgerows reduced nitrate leaching as compared to a no tree control on a sandy Ultisol in Benin. Lower subsoil water provided indirect evidence of reduced leaching loss of nutrients under trees in agroforestry systems of western Kenya (ICRAF 1996). Subsoil water in *S. sesban* fallows seldom exceeded field capacity in a clayey Oxisol despite a mean annual rainfall of about 1800 mm. Subsoil water in the natural uncultivated fallow and maize monoculture at the same site occasionally exceeded field capacity; indicating that mobile water was present to transport nitrate downward. Low subsoil water and nitrate content under *S. sesban* were attributed to high water and N demand by the fast-growing tree.

d) Environmental benefits

Trees protect the soil surface via two canopies: the litter layer and the leaf canopy, thereby decreasing runoff and erosion losses, dampening temperature and moisture fluctuations and in most cases, maintaining or improving soil physical properties (Sánchez et al. 1985; Lal 1989bc; Hulugalle & Kang 1990; Hulugalle & Ndi 1993; Rao et al. 1997). In

agroforestry systems, the beneficial effects of protecting the soil surface depend on the spatial and temporal coverage of the tree component. Also, tree roots can loosen the topsoil by radial growth and improve porosity in the subsoil when roots decompose. The perennial nature of tree root systems provides a dependable source of carbon substrate for microorganisms in the rhizosphere; microbial mucilage binds soil particles into stable aggregates, which results in improved soil structure (Tisdall & Oades 1982). These two processes, surface soil protection and root penetration take place continually in agroforestry systems instead of temporarily, as in agricultural systems. Out of them, three major kinds of environmental benefits ensue: soil conservation, biodiversity conservation and carbon sequestration.

(i) Soil conservation

Many agroforestry systems help keep the soil resource in place by biological instead of engineering means (Young 1989; Lal 1989a; Kiepe & Rao 1994; Juo et al. 1995; Rao et al. 1997). While contour hedges do require management, although certainly less than earth terraces, they also become a productive niche on the farm while conserving the soil. Controlling soil erosion biologically has an additional advantage: the slope between the hedges becomes less steep and even flat in some cases (Garrity 1996; Kiepe & Rao 1994). These "biological terraces" are produced by taking advantage of the erosion process within the contour hedges, with the vegetative growth keeping up with the higher soil surface at the lower end, something nonbiological terraces cannot do. Trees, however, do not conserve the soil until they are well established and have developed a litter layer (Sánchez et al. 1985). Once established, most trees protect the soil constantly, provided they are healthy and the litter layer is not removed. Biomass transfer of tree leaf litter to cropped fields undermines this process (Nyathi & Campbell 1993).

(ii) *Enhancing biodiversity*

All agroforestry systems are more diverse than crop or forest plantation monocultures, while some such as the complex agroforests of Southeast Asia are nearly as diverse as natural forests (Thiollay 1995). But importantly, agroforestry also helps to conserve plant and animal biodiversity by reducing the further clearance of tropical forests by providing viable alternatives to slash-and-burn agriculture (Sánchez 1994; Schroeder 1994). Precise estimates of these substitution values do not exist for agroforestry systems, although figures of 7.1 and 11.5 hectares saved for each hectare put in successful agroforestry have been reported (Schroeder 1993).

Multistrata or complex agroforests are one such alternative to slash-and-burn. In these systems, annual food crops are planted along with trees and cover the ground quickly until they are shaded out by these trees that eventually occupy different strata and produce high-value products such as fruits, resins, medicinals and high-grade timber (de Foresta & Michon 1994; Michon & de Foresta 1996). Plant diversity is in the order of 300 species ha⁻¹ in the mature complex rubber agroforests of Sumatra, Indonesia. This level of plant biodiversity by far exceeds that of rubber plantations (5 species ha⁻¹) and approximates that of adjacent undisturbed forests with 420 plant species ha⁻¹. The richness of bird species in mature damar (*Shorea javanica*)-based agroforests is approximately 50% that of the original rainforest (Thiollay 1995) and almost all mammal species are present in the agroforest (Sibuea & Herdimansyah 1993). This is possible because such agroforests, composed of hundreds of small plots managed by individual families, occupy contiguous areas of several thousand hectares in Sumatra. Tracks of the rare Sumatran rhino (*Dicerorhinus sumatrensis*) were recently discovered in one of these rubber agroforests, implying that they may provide a habitat similar to the natural rainforest (Sibuea 1995). Such high biodiversity levels, however, cannot be

expected of shorter duration agroforestry systems, such as improved fallows, or in systems that are less geographically extensive.

Agroforestry plays a major role in the reclamation of degraded and abandoned lands and is generally considered the most workable approach to mimic natural forest succession and increase biodiversity (Anderson 1990). Hard data on increasing biodiversity in degraded lands through agroforestry, however, are practically non-existent (Sánchez et al. 1994).

Below-ground biodiversity is also higher in agroforestry systems than in crop monocultures, approximating the levels of the natural forest in the Amazon (Lavelle & Pashanasi 1989). Soil macrofauna and microflora are key regulators of the basic decomposition processes that provide nutrients to higher plants and animals. While not as attractive as "furry and feathered creatures", soil communities are a major component of biodiversity conservation and ecosystem functioning.

(iii) *Carbon sequestration*

Agroforestry systems help keep carbon in the terrestrial ecosystem and out of the atmosphere by preventing further deforestation and by accumulating biomass and soil carbon (Schroeder 1994). As in the case of biodiversity conservation, the main contribution of improved agroforestry systems to terrestrial carbon conservation, comes from its preventive effect, that is, the area of natural forests that will not be cleared because farmers can make continuous use of already cleared land through improved agroforestry systems (Schroeder 1993; Unruh et al. 1993; Sánchez 1994). One hectare of humid tropical forests contains on average 160 t C ha⁻¹ in the above-ground biomass (Houghton et al. 1987). When it is slashed and burned, most of it is emitted to the atmosphere either immediately during the burn or gradually through the decomposition of unburned logs and branches. Keeping this carbon resource (some 96 billion tons of C in the remaining humid tropical forest biomass) in situ is of critical importance.

Complex agroforestry systems of long duration such as jungle rubber and damar agroforests of Sumatra and multistrata systems throughout the humid tropics can sequester carbon in its tree biomass, where it remains sequestered for decades. In addition, complex agroforests act as sinks for methane emitted by adjacent paddy fields, thereby neutralizing these greenhouse gas emissions at the landscape scale (Murdiyarso et al. 1996).

The greatest potential for carbon sequestration is probably in soils that have been depleted of carbon and nutrients and have the potential to regain their original SOM levels. Woomer et al. (1997) estimate that 66 tons ha⁻¹ of carbon can be sequestered in woody biomass and nutrient-depleted soils in Africa over a 20 year period by a combination of nutrient recaptalization, erosion control, boundary tree plantings and woodlot or orchard establishment.

The overall magnitude of carbon sequestration by agroforestry is considered among the highest among land-use systems by climate change researchers. Unruh et al. (1993) performed complex calculations of agroforestry systems in Africa, their biomass accumulation and their potential distribution using GIS techniques. Their results suggest a huge amount of carbon can be sequestered, ranging from 8 to 54 Gt (billion tons) of C in a total of 1.55 billion hectares where agroforestry could potentially be practiced. This figure represents the theoretical upper limit. Above- and below-ground carbon sequestration values, however, need to be generated locally, taking into account the duration of each agroforestry system, and extrapolated geographically in a realistic fashion, based on actual rates of agroforestry adoption.

TREES AND OVERCOMING RURAL POVERTY IN AFRICA

While agroforestry trees may improve soil fertility, nutrient use efficiency and provide major environmental benefits, they are not likely

to have a significant impact on food security or alleviating poverty by themselves. Successful agroforestry can contribute to 1) food security from the production point of view through soil fertility replenishment, along with fertilizers, and 2) poverty alleviation and access to enough and nutritious food through the domestication of indigenous trees and enabling policies. This section examines such possibilities.

a) Soil fertility replenishment

Soil fertility depletion in smallholder farms of Africa is beginning to be recognized as the fundamental biophysical limiting factor responsible for the declining per capita food production of the continent (Sánchez et al. 1996; 1997; IFPRI 1996). The magnitude of nutrient mining is huge, as evidenced by nutrient balance studies. An average of 660 kg of N, 75 kg P and 450 kg K per ha has been lost during the last 30 years from about 200 million ha of cultivated land in 37 African countries. The total annual nutrient depletion in sub-Saharan Africa is equivalent to 7.9 million tons of NPK per year, six times the amount of annual fertilizer consumption to the region, excluding South Africa (Sánchez et al. 1997). Nutrient capital has gradually been depleted by crop harvest removals, leaching and soil erosion, because farmers did not sufficiently compensate these losses by returning nutrients to the soil via crop residues, manures and inorganic fertilizers. The consequences of nutrient depletion are felt at the farm, watershed, national and global scales and include major economic, social and environmental externalities. Sánchez et al. (1997) suggested that soil fertility replenishment should be considered as an investment in natural resource capital.

Phosphorus replenishment strategies are mainly fertilizer-based with biological supplementation, while nitrogen replenishment strategies are mainly biological, with chemical supplementation. Replenishing phosphorus capital can be accomplished by large applications

of phosphorus fertilizers in high P-fixing soils. Africa has ample rock phosphate deposits that could be used directly or as superphosphates to reverse phosphorus depletion.

One of the problems is the need to add acidifying agents to rock phosphates in order to facilitate their dissolution in many phosphorus-depleted African soils that have pH values above 6.0, which are too high for acidification to occur at a rapid rate. Decomposing organic materials produce organic acids that may help acidify rock phosphate. Mixing rock phosphates with compost has shown promise in increasing the availability of rock phosphate in Burkina Faso (Lompo 1993) and in Tanzania (Ikerra et al. 1994). Organic acids produced during the decomposition of plant materials may temporarily reduce the P-fixation capacity of the soils by binding to the oxides and hydroxide surfaces of clay particles (Iyamuremye & Dick 1996). Through this process phosphorus availability and nutrient use efficiency are temporarily increased. Research in western Kenya with Minjingu rock phosphate and triple superphosphate indicates higher maize yields following incorporation of P with *T. diversifolia*, rather than urea at an equivalent N rate. The benefit from *T. diversifolia* was partially attributed to addition of K and about 5 kg P ha⁻¹ (Buresh et al. 1997). Subsequent research confirmed higher maize production with sole application of *T. diversifolia* biomass than with an equivalent rate of NPK mineral fertilizer on a P and K deficient soil (Bashir Jama et al. unpublished data). The integration of available organic resources, such as *T. diversifolia*, with commercial phosphorus fertilizers may be important to increase and sustain soil phosphorus capital (Palm et al. 1997).

Given the largely biological nature of the nitrogen cycle, the use of organic inputs as a source of biologically-fixed nitrogen and deep nitrate capture play a crucial role in nitrogen replenishment. Agroforestry trees and herbaceous leguminous green manures play a major role in internal cycling. Organic inputs have an important advantage over inorganic

fertilizers with regard to fertility replenishment; they provide a carbon source for microbial utilization resulting in the formation of soil organic nitrogen. Inorganic fertilizers do not contain such carbon sources; therefore, most of the fertilizer nitrogen not used by crops is subject to leaching and denitrification losses, while much of the nitrogen released from organic inputs and not utilized by crops could build soil organic nitrogen capital (Sánchez & Palm 1996). Nitrogen fertilizers will likely be needed to achieve high crop yields on top of the nutrient contributions of agroforestry (Sánchez et al. 1996).

Accompanying technologies and enabling policies are needed to make recapitalization operational. Soil conservation technologies must be present in order to keep the nutrient capital investment in place, and to avoid polluting rivers and groundwaters. Policy improvements are needed to provide the timely access to markets, adaptive research and extension education-particularly in the combined use of organic and inorganic sources of nutrients. The issue of who should pay for this recapitalization is based on the principle that those who benefit from a course of action should incur the costs of its implementation. On-farm, maintenance costs should be borne by farmers, whereas the national and global societies should share the more substantial costs of actual phosphorus applications. This sharing should reflect the ratio of national to global benefits (Sánchez et al. 1997).

b) Intensifying and diversifying land use through tree domestication

Soil fertility replenishment can go a long way in boosting agricultural production in Africa but it is a necessary and not sufficient condition for attaining food security and eliminating rural poverty-particularly considering the economic constraint on farmers' affording fertilizers. Numerous other factors have to come together as well, such as post-harvest losses, pests and disease attacks, the declining size of land holdings and

declining human health. The last two have an impact on the availability of field labor that is also a consequence of family members moving to the town to secure off-farm income. What is needed is a paradigm shift from policies directed only at increasing yields of the few staple food crops to one geared at "putting money in farmer's pockets". This Green Revolution approach has played, and will continue to play, an important part in meeting the needs of the rural poor, but additional steps also must be taken. It is in this vein that Sánchez & Leakey (1997) suggest that a further transformation is needed in the long run: intensifying land of smallholder farms in Africa in ways that generate income for farmers so that they have the option to invest in farm inputs.

President Yoweri Museveni of Uganda, in his opening address to a SPAAR (Special Program for African Agricultural Research) meeting in Kampala, 6 February 1996 articulated this idea very clearly. He stated that "it does not make sense to grow low-value products (maize and beans) at a small-scale; instead high-value products should be grown at a small-scale, while low value products should be grown on a large-scale".

The obvious implication is that small-scale farming in Africa must diversify by producing a combination of high-value, profitable crops along with the basic food crops. Examples of this strategy occur in western Kenya, where small patches -in the order of 100 m²- of French beans are grown by smallholders contracted by an exporting company for fresh consumption in Europe. The market is assured and farmers intensively water, fertilize and weed these islands of wealth among their lower value crops. But the largest opportunities for farm diversification come from trees producing an array of marketable products.

Traditionally people throughout the tropics have depended on indigenous plants for fruits and everyday household products, from medicines to fibres. These products have also provided the essential vitamins and minerals for family health, and through local and regio-

nal trading have generated cash to meet household needs for purchased products and services. Maybe it is here, in people's own backyard, that the solution lies. But sadly, through deforestation, the forest or woodland that used to be in the farmers' backyard has now all but disappeared for the vast majority of people in Africa. This is where tree domestication as part of agroforestry becomes so important. Already there is a body of biophysical information on the techniques available to domesticate a wide range of wild tree species (Leakey & Newton 1994a; 1994b; Newton et al. 1994; Leakey et al. 1996; Franzel et al. 1995). Furthermore, guidelines have been developed for determining the species priorities of farmers (Franzel et al. 1996; Jaenicke et al. 1996).

These "Cinderella" species -so called because their value has been largely overlooked by science although appreciated by local people- include indigenous fruit trees and other plants that provide medicinal products, ornamentals or high-grade timber. Some examples are shown in Table 1.

Techniques being developed to convert some of these wild species into domesticated crops in agroforestry systems include vegetative propagation and clonal selection designed to capture genetic diversity (Leakey & Jaenicke 1995). Domestication involves the formulation of a genetic improvement strategy for agroforestry trees and a strategy on the use of vegetative propagation to capture the additive and non-additive variation of individual trees in tree populations (Simons 1996). The domestication strategy for these indigenous fruit tree species, as well as for *Prunus africana* and *Pausinystalia johimbe*, two priority trees for medicinal products, is to conserve their genetic resource in living-germplasm banks and subsequently to develop cultivars for incorporation into multistrata agroforests (Leakey & Simons 1997).

High-value trees can fit in specific niches on farms making the system ecologically stable and more rewarding economically, thus

Table 1. Examples of "Cinderella" tree species with high potential for domestication (Leakey et al. 1996)

Species	Common Names	Ecoregion	Products
<i>Irvingia gabonensis</i>	Bush mango, mango de sauvage	Humid West Africa	Fruit, kernels
<i>Uapaca kirkiana</i>		Miombo of Southern Africa	Fruit
<i>Sclerocarya birrea</i>		Miombo of Southern Africa	Fruit, beverage
<i>Bactris gasipaes</i>	Peach palm, pejibaye, pupunha, pijuayo, chontaduro	Western Amazonia	Fruit, heart of palm, parquet floors, fibres
<i>Vitellaria paradoxa</i>	Karité, shea nut	Sahel	Cosmetics, oils
<i>Prunus africana</i>	Pigeum	Montane tropical Africa	Medicinal
<i>Pausinystalia johimbe</i>	Johimbe	Humid West Africa	Medicinal

diversifying and increasing rural incomes and improving food security. Timber trees can also be grown on farm boundaries with leguminous fodder trees under them. Similarly, fuelwood trees can be grown on field boundaries or as contour hedges on sloping lands. In such a scheme, improved fallows become a crucial part of the crop rotation. The result is that farm income is increased and diversified, providing resiliency against weather or price disruptions, soil erosion is minimized, nutrient cycling maximized and above- and below-ground biodiversity enhanced. The farm truly approximates a functioning ecosystem. The latest definition of agroforestry summarizes this approach: a dynamic, ecologically-based, natural resource management system that, through the integration of trees in farm and in the landscape, diversifies and sustains smallholder production for increased social, economic and environmental benefits (Leakey 1996).

Through domestication these tree crops could become higher yielding, produce higher quality products, be more attractive commercially and diversify diets (Leakey et al. 1996). Such progress could improve household welfare by providing traditional food and health products,

boosting trade, generating income and diversifying farming systems, both biologically and economically, beyond the production of basic food crops. Generally tree crops have lower labor requirements than basic food crops and could thus allow farmers time for off-farm income generation. A new paradigm for smallholder farming in Africa emerges: one that instead of being based on a limited number of highly domesticated crops, often grown in monoculture, is based on a much greater diversity of commercially important plants that together produce food and high-value products (Leakey & Izac 1996).

c) Enabling policies

Current policy recommendations place a high priority on the revitalization of the agricultural sector in Africa (IFPRI 1996; FAO 1996) and some success stories are beginning to emerge (Cleaver & Schreiber 1994). The fact that most food in Africa is produced by smallholders, often female farmers, is frequently considered a major constraint to agricultural development. In contrast, the authors of this paper believe that small-scale farms can be an

asset rather than a liability when supported by appropriate policies. The agricultural production boom in Asia is a product of smallholder farms and not of a shift from small to large-scale farming. The policies include improvements in land tenure, infrastructure, marketing information, credit, research, extension and access to inputs and markets at reasonable prices (Place 1996). Public investment to increase access to education by girls and improve public health services in rural areas also plays an important role in this transformation process. Policy reform to seize opportunities for smallholder development and to eliminate policies that discriminate against the smallholder agricultural sector therefore remains a top priority. Indeed, policy reform is a necessary but not a sufficient condition for food security and environmental conservation. In order for enabling policies to work in most of Africa the twin issues of soil fertility depletion and land-use intensification and diversification have to be tackled.

Thus the vision now is of agroforestry as an integrated land use policy that combines increases in productivity and income generation, with environmental rehabilitation and the diversification of agro-ecosystems. Such a vision can be fitted to the range of situations found in the major ecoregions of Africa. According to Cooper et al. (1996) and Sánchez et al. (1997), the realization of this vision, however, is going to be dependent on:

- the appreciation by the international community of the importance of soil fertility replenishment and high-value indigenous species in the lives and welfare of local people, as well as incentives (or the removal of disincentives) for local people to plant trees on their farms,
- replenishment of plant nutrients that can also be viewed as an investment in natural resource capital, just like investments in dams and irrigation
- the domestication of commercially-important indigenous tree species producing high-value products

– the development of processing infrastructure at the rural scale and a dynamic market perspective at natural and global scales.

Commercialization is both necessary and potentially harmful. It is necessary because without it the market for products is small, and the opportunity for rural people to make the money would not exist. A degree of product domestication is therefore essential. On the other hand commercialization is potentially harmful to rural people, if it expands to the point that outsiders with capital to invest, come in and develop large-scale monocultural plantations. However, from the experience of the complex agroforests in southeast Asia (de Foresta & Michon 1994; Michon & de Foresta 1996), smallholder units producing non-timber forest products that are also biologically-diverse and economically viable, indicating that the intensification and diversification of land use is not a pipe-dream.

THE WAY FORWARD

While land use intensification caused by demographic pressure is generally associated with environmental degradation, the long-term relationship between land resource degradation and demographic pressure is not necessarily negative and linear (Harwood 1994; Scherr & Hazel 1994). With further increases in population pressure, however, a point is reached where degradation is reversed with further land intensification and incorporation of trees within the farm. This has happened in the semi-arid Machakos District of Kenya, where despite increasing population pressure since the 1930s farmers were able to reverse land degradation through an indigenous soil conservation technology that improved both crop and livestock productivity (Tiffen et al. 1994; Pagiola 1994). This technology did not have a major agroforestry component, but recent evidence in Eastern Africa indicates that the same is true with agroforestry. In the more heavily populated

areas of Burundi (Place 1995), Kenya (Holmgren et al. 1994; Bradley et al. 1995; Patel et al. 1995) and Uganda (Place & Otsuka 1997) where farm size is extremely small, the number of trees on farms is also expanding as farmers increasingly recognize their value. In fact, much of the reforestation in the tropics is taking place on farm, though agroforestry, and not as plantations (John Spears, personal communication). Most of the planted trees are generally of low value and used for fodder, fuelwood, boundary delineation and exotic fruits

like avocado and mango. The next step is to incorporate high-value domesticated trees into these farms. If the three determinants are realized -replenished soils, high value trees and enabling policies- Africa will be facing a win-win situation (socially, economically and ecologically) where poverty alleviation, food security and environmental protection go hand in hand.

REFERENCES

- AE, N., AKIHARA, J. OKADA, K. YOSHINARA, T. & JOHANSEN, C. 1990. Phosphorus uptake by pigeon pea and its role in cropping systems in the Indian subcontinent. *Science* 248, 477-480.
- ANDERSON, A.B. (ed.) 1990 *Alternatives to deforestation: steps toward sustainable use of the Amazon rainforest*. New York: Columbia University Press.
- BARRIOS, E., BURESH, R.J. & SPRENT, J.I. 1996a Organic matter in soil particle size and density fractions from maize and legume cropping systems. *Soil Biology and Biochemistry* 28, 185-193.
- BARRIOS, E., BURESH, R.J. & SPRENT, J.I. 1996b Nitrogen mineralization in density fractions of soil organic matter from maize and legume cropping systems. *Soil Biology and Biochemistry* 28, 1549-1465.
- BARRIOS, E., KWESIGA F. BURESH, R.J. & SPRENT, J.I. 1997 Light fraction soil organic matter and available nitrogen following trees and maize. *Soil Science Society of Marica Journal* (In press).
- BORLAUG, N. & DOWSWELL, C.R. 1994 Feeding a human population that increasingly crowds a fragile planet. *Supplement to Transactions 15th World Congress of Soil Science, Acapulco, Mexico*. Chapingo, Mexico: International Society of Soil Science.
- BORLAUG, N., 1996 Mobilizing science and technology for a green revolution in African agriculture. In *Achieving greater impact from research investments in Africa* (ED. S.A. BRETH), PP. 209-217. México city: Sasakawa Africa Association.
- BRADLEY, P.N. CHAVANGI, N. & VAN GELDER, A. 1995 Development research and energy planning in Kenya. *Ambio* 14, 228-236.
- BURESH, R.J. SMITHSON, P.C. & HELLUMS, D. 1997 building up soil P capital in sub-Saharan Africa. In *Replenishing soil fertility in Africa* ASA-SSSA Special Publication (forthcoming).
- BURESH, R.J. & TIAN, G. 1997 soil improvement by trees in sub-Saharan Africa. *Agroforestry Systems* (forthcoming).
- CLEAVER, K.M. & SCHREIBER, G.A. 1994 *Reversing the spiral; the population, agriculture and environment nexus in sub-Saharan Africa* Washington, D.C: World Bank.
- CONSTANTINIDES, M. & FOWNES, J.H. 1994 Nitrogen mineralization from leaves and litter of tropical plants: relationships to nitrogen, lignin and soluble polyphenol concentrations. *Soil Biology and Biochemistry* 26, 49-55.
- COOPER, P.J.M. LEAKEY, R.R.B.; RAO, M.R. & REYNOLDS, L. 1996 Agroforestry and the mitigation of land degradation in the humid and sub-humid tropics of Africa. *Experimental Agriculture* 32, 235-290.
- DE FORESTA, H. & MICHON, G. 1994 Agroforests in Sumatra: Where ecology

- meets economy. *Agroforestry Today* 6. 12-13.
- DRECHSEL, P. GLASER, B. & ZECH, W. 1991 Effect of four multipurpose tree species on soil amelioration during tree fallow in Central Togo. *Agroforestry Systems* 16, 193-202.
- FAO 1995 *FAO Fertilizer yearbook volume 44* 1994 Rome: FAO
- FAO 1996 *World food summit: Synthesis of the technical background documents* Rome: FAO.
- FRANZEL, S., JAENICKE, J. & JANSSEN, W. 1996 *Choosing the right trees: Setting priorities for multipurpose tree improvement. ISNAR Research Report No 8* The Hague, Netherlands: ISNAR.
- GACHENGO, C.N. 1996 *Phosphorus release and availability on addition of organic materials to phosphorus fixing soils*. MSc. Thesis, Moi University, Eldoret, Kenya.
- GARRITY, D.P. 1996 Tree-soil-crop interactions on slopes., In *Tree-crop interactions, a physiological approach* (ed. C.K. Ong & P. A. Huxley), pp. 299-318. Wallingford, U.K. CAB International.
- GILLER, K.E. & WILSON, K.J. 1991 *Nitrogen fixation in tropical cropping systems*. Wallingford, UK: CAB International.
- HANDS, M.R. HARRISON, A.F. & BAYLISS-SMITH, T. 1995 Phosphorus dynamics in slash-and-burn and alley cropping systems of the humid tropics. In *Phosphorus in the global environment* (ed. J. Tiessen) pp. 155-170. Chichester, UK: Wiley.
- HARTEMINK, A.E. BURESH, R.J., JAMA, B. & JANSSEN, B.H. 1996 Soil nitrate and water dynamics in sesbania fallow, weed fallows, and maize. *Soil Science Society of America Journal* 60, 568-574.
- HARWOOD, R.R. 1994 Agronomic alternatives to slash-and-burn in the humid tropics. In *Alternatives to slash-and-burn agriculture. Symposium ID-6, 15th World Congress of Soil Science Acapulco, Mexico* (ed. P. A. Sánchez & H. van Houten), pp. 93-106. Chapingo, Mexico: International Society of Soil Science.
- HOLMGREN, P. MASAKHA, E.J. & SJÖHOLM, H. 1994 Not all African land is being degraded: a recent survey of trees on farms in Kenya reveals rapidly increasing forest resources. *Ambio* 23, 390-395.
- HORST, W.J. KÜHNE, R. & KANG, B.T. 1995 Nutrient use in *Leucaena leucocephala* and *Cajanus cajan* in maize/cassava alley cropping on Terre de Barre, Benin Republic. In *Alley farming research and development* (ed. B.T. Kang, A.O. Osiname & Larbi) pp. 122-136. Ibadan, Nigeria: Alley Farming Network for Tropical Africa.
- HOUGHTON, R.A. BOONE R.D., FRUCI, J.R., HOBBIE, J.E. MELILLO, J.M. PALM, C.A. PETERSON, B.J. SHAVER, G.R. WOODWELL, G.M. MOORE, B. SKOLE, D.L. & MYERS, N. 1978 The flux of carbon from terrestrial ecosystems to the atmosphere in 1980 due to changes in land use: geographic distribution of the global flux. *Tellus* 39B, 122-139.
- HULUGALLE, N.R. & KANG, B.T., 1990 Effect of hedgerow species in alley cropping systems on surface soil physical properties of an oxic paleustalf in southwestern Nigeria. *Journal of Agricultural Science (Cambridge, UK)* 114, 301-307.
- HULUGALLE, NR & NDI, JN, 1993 Effects of no-tillage and alley cropping on soil properties and crop yields in a typic kandudult of southern Cameroon. *Agroforestry Systems* 22, 207- 220.
- ICRAF 1996 *1995 annual report*. Nairobi, Kenya: International Centre for Research in Agroforestry.
- IFPRI 1996 *Feeding the world, preventing poverty and protecting the earth: A 2020 vision*. Washington: International Food Policy Research Institute.
- IKERRA, T.W.D., MNEKENI, P.N.S. & SINGH B.R. 1994 Effects of added compost and farmyard manure on P release from Minjingu phosphate rock and its uptake by

- maize. *Norwegian Journal of Agricultural Sciences* 8, 13- 23.
- IYAMUREMYE, F & DICK, R.P 1996 Organic amendments and phosphorus sorption by soils. *Advances in Agronomy* 56, 139-185.
- JAENICKE, H., FRANZEL S & BOLAND D.J 1996 Towards a method to set priorities among species for tree improvement research: a case study from west Africa. *Journal of Tropical Forest Science* 7, 490-506.
- JONSSON, K, STAHL, L & HOGBERG, P. 1996 Tree fallows: A comparison between five tropical species. *Biology and Fertility of soils* 23, 50- 56.
- JUO, A.S.R. et al 1995 Changes in soil properties during longterm fallows and continuous cultivation after forest clearing in Nigeria. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 56, 9- 18.
- KANG, B.T., AKINNIFESI, F.K. & LADIPO D.O. 1994 Performance of selected woody agroforestry species grown on Alfisol and Ultisol in the humid lowland of West Africa, and their effects on soil properties. *Journal Tropical Forest Science* 7, 303- 312.
- KANG, B.T. et al 1997 Role of some perennial leguminous and natural fallows species in the amelioration of a degraded oxic paleustalf. Effect on soil properties and crop performance. *Land Use Management*. (In Press).
- KIEPE, P & RAO M.R. 1994 Management of agroforestry for the conservation and utilization of land and water resources. *Outlook in Agriculture* 23 (1), 17- 25.
- KINJO T. & PRATT P.F. 1971 Nitrate adsorption. *Soil Science Society of America Proceedings* 35, 722- 732.
- KWESIGA, F. & COE R 1994 The effect of short rotation *Sesbania sesban* planted fallow on maize yields. *Forest Ecology and Management* 64, 199-208.
- LAJTHA, K. & HARRISON, A.F. 1995 Strategies of phosphorus acquisition and conservation by plant species and communities. In *Phosphorus in the global environment* (ed. H. Tiessen), pp. 139-148. Chichester, UK: Willey.
- LAL, R. 1989a Agroforestry systems and soil surface management of a tropical alfisol: II. Water runoff, soil erosion, and nutrient loss., *Agroforestry Systems* 8, 97-238.
- LAL, R. 1989b Agroforestry systems and soil surface management of a tropical Alfisol: IV. Effect on soil physical and mechanical properties. *Agroforestry Systems* 8: 197-215.
- LAL, R. 1989c Agroforestry systems and soil surface management on a tropical Alfisol: V. Water infiltrability, transmissivity and soil water sorptivity. *Agroforestry Systems* 8: 217-238.
- LAVELLE, P. & PASHANASI, B. 1989 Soil macrofauna and land management in Peruvian Amazonia. *Pedobiologia* 33: 283-291.
- LEAKEY, R.R.B. & NEWTON, A.C. 1994a Domestication of "Cinderella" species as a start of a woody plant revolution. In *Tropical trees: Potential for domestication and the rebuilding of forest resources* (ed. R.R.B. Leakey & A.C. Newton) pp. 3-6. London: HMSO.
- LEAKEY, R.R.B. & A.C. NEWTON (ed.) 1994b *Domestication of Timber and Non-timber Forest Products MAB Digest* 17. Paris. France. UNESCO.
- LEAKEY, R.R.B. & JAENICKE, H. 1995 The domestication of indigenous fruit trees: opportunities and challenges for agroforestry. In *Proc. 4th International BIO-REFOR Workshop* (ed. K. Suzuki, S. Sakurai, K. Ishii & M. Norisada), pp. 15-26. Tokyo. Japn. BIO-REFOR.
- LEAKEY, R.R.B. 1996 Definition of agroforestry revisited. *Agroforestry Today* 8 (1) 5-7.
- LEAKEY, R.R.B. & IZAC, A.M.N. 1996 Linkages between domestication and commercialization of non-timber forest products: *implications for agroforestry*.

- Non-wood forest products 9* (ed. R.R.B. Leakey, A.B. Temu, & M.Melnyk), pp. 1-8. Rome. FAO.
- LEAKEY, R.R.B. & SIMONS, A.J. 1997 The domestication and commercialization of indigenous trees in agroforestry for the alleviation of poverty. *Agroforestry Systems* (forthcoming).
- LEAKEY, R.R.B.; TEMU, A.B., & MELNYK, M. (ed.) 1996 *Domestication and commercialization of non-timber forest products for agroforestry. Non-wood forest products 9*. Rome: FAO.
- LOMPO, F. 1993 *Contribution a la valorisation des phosphates naturels du Burkina Faso: Etudes des effets de l'interaction phosphates naturels-matieres organiques*. These Docteur Ingenieur, Faculte des Sciences et Techniques de L'Universite Nationale de Cote d'Ivoire. Abidjan.
- MAROKO, J. BURESH, R.J. & SMITHSON, P.C. 1997 Soil phosphorus pools in unfertilized fallow-maize systems and relationships to maize yield. *Soil Science Society of America Journal* (Submitted).
- MEKONNEN, K. BURESH, R.J. & JAMA, B. 1997 Root and inorganic nitrogen distributions in sesbania fallow, natural fallow and maize. *Plant and Soil* (In press).
- MICHON, G. & DE FORESTA, H. 1996 Agroforests as an alternative to pure plantations for the domestication and commercialization of NTFPS. In *Domestication and commercialization of non-timber forest products for agroforestry. Non-wood forest products 9* (ed. R.R.B. Leakey, A.B. Temu, & M. Melnyk), pp. 160-175. Rome. FAO.
- MURDIYARSO, D.; HARIAH, K.; HUSIN, Y.A. & WASRIN U.R.. 1996 Greenhouse gas emissions and carbon balance in slash and burn practices. In *Alternatives to slash-burn in Indonesia* (ed. M. van Noordwijk, T.P. Tomich, D.P. Garrity, d.P. & Fagi A.M.), pp. 15-38. Bogor, Indonesia: AARD.
- NEWTON, A.C., MOSS, R. & LEAKEY, R.R.B. 1994 The hidden harvest of tropical forests; domestication of non-timber products. *Ecodecision* 13, 48-52.
- NIANG, A. AMADALO, B. & GATHUMBI, S. 1996 Green manure from the roadside. *Miti Ni Maendeleo* 2, 10. Kisumu, Kenya: Maseno Agroforestry Research Centre.
- NYATHI, P. & CAMPBELL, M.B. 1993 the acquisition and use of miombolitter by small-scale farmers in Masvingo, Zimbabwe. *Agroforestry Systems* 22: 43-48.
- ONG, C.K. & HUXLEY, P.A. (ed.) 1996 *Tree-crop interactions, a physiological approach*. Wallingford, UK. CAB International.
- OTANI, T., AE, N. & TANAKA, J. 1996 Phosphorus (P) uptake mechanisms of crops grown in soils with low P status. II. Significance of organic acids in root exudates of pigeonpea. *Soil Science and Plant Nutrition* 42, 553-560.
- PAGIOLA, S. 1994 Soil conservation in a semi-arid region of Kenya: rates of return and adoption by farmers. In *Adopting conservation on the farm* (ed. T.L. Napier, S.M. Camboni & S.a. El-Swaify), pp. 171-187. Alkeny, Iowa: Soil and Water Conservation Society.
- PALM, C.A. & SANCHEZ, P.A. 1991 Nitrogen release from the leaves of some tropical legumes as affected by their lignin and polyphenolic contents. *Soil Biology and Biochemistry* 23, 83-88.
- PALM, C.A. 1995 Contribution of agroforestry trees to nutrient requirements of intercropped plants. *Agroforestry Systems* 30, 105-124.
- PALM, C.A., MYERS, R.J.K. & NANDWA, S. 1997 Organic-inorganic nutrient interactions in soil fertility replenishment. In *Replenishing soil fertility in Africa*. ASA-SSSA Special Publication (forthcoming).
- PATEL, S.H.; PINCKNEY, T.C. & JAEGER, W.K. 1995 Smalholder wood production and population pressure in East Africa: Evidence of an environmental kuznets curve? *Land Economics* 71, 516-530.

- PLACE, F. 1995 *The role of land and tree tenure on the adoption of agroforestry technologies in Zambia, Burundi, Uganda and Malawi: A summary and synthesis* University of Wisconsin, Madison: Land Tenure Center.
- PLACE, F. (ed). 1996 *Towards improved policy making for natural resources and ecosystem management in Sub-Saharan Africa*. Nairobi, Kenya: ICRAF.
- PLACE, F. & OTSUKA, K. 1997 *Population density, land tenure and resource management in Uganda* Manuscript. Nairobi, Kenya: ICRAF and IFPRI.
- RAO, M.R., NAIR, P.K.R. & ONG, C.K. 1997 Biophysical interactions in tropical agroforestry. *Agroforestry Systems* (forthcoming).
- SANCHEZ, P.A.; PALM, C.A.; DAVEY, C.B.; SZOTT, L.T. & RUSSELL, C.E. 1985 Trees as soil improvers in the humid tropics? In *Trees as crop plants* (ed. M.G.R. Cannell & J.E. Jackson), pp. 327-358. Huntingdon, UK: Institute of Terrestrial Ecology.
- SANCHEZ, P.A. & MILLER, R.H. 1986 Organic matter and soil fertility management in acid soils of the tropics. In *Transactions 13th International Congress Soil Science, Hamburg 6*, 609-625.
- SANCHEZ, P.A. 1994 Alternatives to slash-and-burn: a pragmatic approach for mitigating tropical deforestation. In *Agricultural technology, policy issues for the international community* (ed. J.R. Anderson), pp. 451-480. Wallingford, UK: CAB International.
- SANCHEZ, P.A.; WOOMER, P.L. & PALM, C.A. 1994 Agroforestry approaches for rehabilitating degraded lands after tropical deforestation. In *Rehabilitation of degraded forest lands in the tropics-technical approach. JIRCAS International Symposium Series 1*, pp. 108-119. Tsukuba, Japan: JIRCAS.
- SANCHEZ, P.A. 1995 Science in agroforestry. *Agroforestry Systems* 30, 5-55.
- SANCHEZ, P.A., IZAC, A.M., VALENCIA, I.M. & PIERI, C. 1996 Soil fertility replenishment in Africa. In *Achieving greater impact from research investments in Africa* (ed. S.A. Breth), pp. 200-208. Mexico City: Sasakawa Africa Association.
- SANCHEZ, P. A. & PAL, C.A. 1996 Nutrient cycling and agroforestry in Africa. *Unasylva* 185 (47), 24-28.
- SANCHEZ, P.A. & LEAKEY, R.R.B. 1997 Land-use transformation in Africa: Three determinants for balancing food security with a natural resource conservation. *Fourth Congress, European Society of Agronomy* (in press).
- SANCHEZ, P.A., IZAC, A.-M.N. BURESH, R.J., SHEPHERD, K.D., SOULE, M., MOKWUNNYE, A.U., PALM, C. A., WOOMER, P.L. & NDERITU, C.G. 1997 Soil fertility replenishment in Africa as an investment in natural resource capital. In *Replenishing soil fertility in Africa*. ASA-SSSA Special Publication (forthcoming).
- SANGINGA, N., BOWEN, G.D. & DANSO S.K.A. 1990 Assessment of genetic variability for N₂ fixation between and within provenances of *Leucaena leucocephala* and *Acacia albida* estimated by ¹⁵N labelling techniques. *Plant and Soil* 127, 169-178.
- SANGINGA, N., et al 1994 Field validation of intraspecific variation in phosphorus use efficiency and nitrogen fixation by provenances of *Gliricidia sepium* grown in low P soils. *Applied soil Ecology* 1, 127-138.
- SANGINGA, N., VANLAUWEB & DANSKO S.K.A. 1995 Management of biological nitrogen fixation in alley cropping systems: Estimation and contribution to N balance. *Plant and Soil* 174, 119-141.
- SCHERR, S.J. & HAZELL, P.A. 1994 Sustainable agricultural development strategies in fragile lands. *Environment and production technology division discussion paper 1*. Washington D.C : IFPRI

SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF SOILS IN WESTERN EUROPE-AN OVERVIEW

PETER BULLOCK.

School of Agriculture, Food and Environment, Cranfield University, Silsoe, Beds MK45 4DT, United Kingdom

INTRODUCTION

In December 1989 the United Nations General Assembly called for a global meeting to discuss and devise strategies to halt and reverse the effects of environmental degradation. Following the adoption of Agenda 21 by the United Nations Conference on Environment and Development in June 1992 (United Nations 1992), increasing focus has been given to sustainable development. Agenda 21 called on governments to prepare national strategies for sustainable development and to report on actions to implement them, on the problems faced and on other relevant environmental issues. Perhaps more than any other single initiative, it has led to a rigorous investigation into the extent that mankind is damaging the environment, the potential effects of such damage and the overall sustainability of the use being made of the planet. Much attention is now being given to the sustainability of the natural resources, of which the soil is one of the three most important.

Two aspects of soils need to be considered in respect to sustainable development. Firstly, there is increasing recognition that the major soil functions (Table 1, Bullock and Gregory, 1991a) should be protected i.e. sustainable development of the soil resource itself. Secondly, there is a strong link between soil

properties and processes, the use that is made of the soil and the wider environment, e.g. in relation to water quality, greenhouse gases. It is necessary to understand and manage this link to achieve sustainable development.

This paper summarises the problems that have emerged and are emerging in the sustainability of the soils of Western Europe and identifies some of the changes that may be necessary to maintain the soils at an adequate standard for future generations.

THREATS TO THE SOIL RESOURCE

There are five main sources to the problems that are affecting the soils of Western Europe and which jeopardise their sustainability (Bullock and Thompson, 1996).

Legacy of industry: The 18th and 19th centuries saw huge industrial expansion, particularly of heavy industry which was demanding of natural resources and used large amounts of fossil fuels. One of the consequences of this, in evidence over the last 200 years, has been acid rain caused mainly by atmospheric emissions from chimneys. It means that for decades soils in many parts of Western Europe have been leached by rainwater with a pH of around 4, and this has had important repercussions

Table 1. Soil Functions.

Economic	Food crops, energy crops, timber. Sand, gravel, minerals. Foundations for buildings and roads.
Ecological	Nutrient supply, cycling, storage. Ecological habitats. Cycling of water and air.
Biological	Habitat for soil fauna and microflora. Gene bank. Food for groundfeeders, e.g. birds.
Hydrological	Water storage, flow control, absorption, and amelioration.
Pollutant Control	Source and sink for pollutants. Waste disposal medium.
Gaseous Exchanges	Source and sink for greenhouse gases.
Landscape and Cultural Heritage	Indicator of landscape evolution. Preservation of archaeological and palaeontological material.

for soil functions and the wider environment, especially the quality of surface water.

The other main legacy of industry is contaminated land. Most West European countries have numerous sites contaminated to varying degrees by industrial use (de Haan, 1987). In the UK, for example, estimates of the area of contaminated land have ranged from 50,000-200,000 ha (almost 1% of Britain) implying that the number of contaminated sites may be in the order of 100,000 (Royal Commission on Environmental Pollution, 1996; (House of Commons, 1991). The uncertainty about the exact number reflects how poorly documented such sites are.

In addition to these industrial sources of contamination is that associated with the major industrial accidents, the best known of which is the Chernobyl nuclear accident. This left a

cumulative deposition of Cs-137 across Europe (Stanners and Bourdeau, 1995), the effects of which are still being felt in that the use of some affected land is still restricted.

The built environment: Countries of Western Europe have experienced significant increases in population in the last 100 years although in the last decade the rate of increase has greatly reduced. One of the effects of this population increase has been the increased demand for housing, roads and the extension of urban development, which in turn has led to increasing amounts of land being taken for building. Soils that are built on usually lose all their functionality, apart from acting as a foundation for the built environment in its various forms (Bullock and Gregory, 1991b). In the UK about 1 per cent of land is lost per decade to urbanisation.

1994). Soil erosion by which particulate matter is moved from the land to off-field sources, such as lakes and rivers, is seen as a key transport mechanism for P to water. There appears to be less movement of P once it is within the soil, though there is some evidence that once threshold levels are exceeded, P in the soil may be mobilised and transported within the soil medium. Heckrath et al., 1995 showed that up to 60 mg extractable P/kg soil, hardly any P could be detected in the water leaving the soil profile, whereas at levels above 60 mgP/kg soil there was a rapid and linear increase in P, mainly as dissolved P in proportion to soil P concentrations. Some soils in Western Europe are saturated with P, e.g. The Netherlands where 80% are estimated to be so (Stanners and Bourdeau, 1995). The fact that large amounts of P have been added to soils over the last 50 years and the fact that both overland and within-soil mechanisms exist for its transfer make it a difficult nutrient to manage.

The EC drinking water directive (EC, 1980) specifies the minimum quality requirements for drinking water supply. The minimum admissible concentration (MAC) of any pesticide in drinking water is set at $0.1 \mu\text{g l}^{-1}$ for individual compounds and $0.5 \mu\text{g l}^{-1}$ as the combined total for all compounds. Pesticides can affect soil functions, particularly the biological one, and since they are subject to movement in the soil with water or attached to particles there are various mechanisms by which they can be transferred to the wider environment. However, in Western Europe there is little evidence that the soil functions are being damaged by the use of pesticides. For example, Bromilow et al., (1966) found no evidence of long term pesticide treatments damaging soil fertility or harming the effects of measured microbial problems. There is abundant evidence that pesticides can be transferred through the soil profile to water courses and aquifers and there are many examples of this in Western Europe (e.g. Suett et al., 1996). Management of pesticides in soils is hindered by the fact that there are several

hundred different compounds with different behaviour patterns, e.g. some are strongly adsorbed and others weakly so. Their behaviour is also influenced by the time of application and the crop to which they are applied. Their safe management on soils can be difficult to achieve and much research is currently being expended on application management. Pesticides have been used extensively in the last few years but the European legislation combined with better understanding of the fate and behaviour of the compounds means that there are fewer incidents of pollution.

ADAPTATIONS AND MITIGATIONS REQUIRED TO IMPROVE THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF WESTERN EUROPEAN SOILS

As pointed out by van Lynden (1994), there are two principal approaches to controlling soil degradation: (i) to seek to identify the source of the problem and take steps to change the source so as to diminish or remove the problem; (ii) to aim to treat the adverse effects where they occur with a view to reducing the extent of the problem. Treating the source of the problem has much to recommend it since it is preventative by nature though initially at least it may be expensive. It also lends itself to a more integrated approach to pollution and degradation control because a single source can give rise to more than one form of degradation. For example, emissions of N from industrial sources can contribute to acid rain as well as deposition of unwanted nitrogen on sites of special scientific interest. Treating the adverse effects on the soil as they occur is a trouble shooting approach and may be subject to reoccurrence of the problems because the causes have not been addressed. Much is now known about the nature of the soil degradation problems in Western Europe. There now needs to be a strategic plan on the part of West European governments, supported by the European Environment Agency to implement

changes to the sources sufficient to bring soil degradation under control.

Industrial influences

Much is already being done to reduce the impact of industry on the soil resource. Following the Rio Summit, nations were charged with bringing about a reduction in emissions. Several countries in western Europe are working to a set strategy for such reductions and improvements are already being recognised. According to Stanners and Bourdeau (1995), most West European countries have demonstrated reductions in SO₂ emissions in the last decade. No such reductions have been identified in respect to NO_x, a matter of concern in view of the estimate of Grennfelt et al., (1994) that nitrogen deposition contributes 30-80% of the acidity of the Netherlands, for example. It is extremely important that emissions continue to be reduced so that damage to the soil resource from this standpoint is limited. Reduction in emissions are essential if acid rain and other unwanted and unregulated additions to soils are to be controlled at an acceptable level.

There is now a much greater awareness of the potential damage to soils, and in turn to plants, fauna and humans, from contaminants. The somewhat carefree approach to the release of contaminants to soils has been replaced by increasing regulation to prevent the deposition of contaminants on soils. For example, the European Environment Agency is now in place and there are more or less strong national Environment Agencies setting legislation or monitoring the observance of it. Thus, new contamination is likely to be less frequent than in the past and be more related to accidents than to ignorance and lack of care. The problem remains, however, that most of the existing contaminated sites are difficult and costly to decontaminate to an acceptable level whereby the soil can be expected to regain most or all of their functions. In most countries of Western

Europe there is no comprehensive inventory of existing sites so that the scale, extent and severity of contamination is not well known. This should be redressed and be one of the responsibilities of the European Environment Agency. It is important to know the location, contaminants and risk sites even if clean-up is never attempted.

Agricultural and Forestry Influences

As pointed out earlier, agricultural practice, particularly in the last 50 years has had a major influence on the soil resources of Western Europe and has been responsible for both good and bad effects. The major good effect has been in the maintenance of nutrition of the soils. By and large the nutritional aspects of soils, particularly under arable agriculture, has been well catered for. Both the pH and levels of N, P and K have been maintained at least at adequate levels and in many cases fertiliser and lime surplus to crop needs have even been applied.

Several of the problems are associated, at least in part, with deterioration in the levels of organic matter which have contributed to increasing structural instability leading to capping and compaction and to increasing soil erosion, which in turn effects the movement of soil nutrients and pesticides off-field to water courses. Insufficient is known about the extent to which soil biodiversity is affected by lower levels of organic matter but it would be surprising if it was not. It is thus extremely important for organic matter levels to be maintained at a reasonable level. This can be achieved in a number of ways: rotation with crops which provide abundant residues, rather than adopting monoculture; incorporation of straw and other crop residues e.g. instead of burning stubble; addition of waste materials to the soil. With respect to the latter there will be huge pressure on the land of Western Europe to accept waste, now that deposition at sea is to be banned from 1998. Relatively little is known about the effect of the different forms of waste in soils and their

value as organic matter once they are in the soil. It will be essential for research programmes to be developed which specifically address this need for knowledge. Alongside the need for research is also the need for legislation which protects the soil from undesirable forms of waste application. Provided the above needs are met, there is significant potential for the use of waste on land to improve the organic matter content and this should receive the support of national governments by appropriate funding for research that will initially be necessary, pump priming to get the ideas taken up and legislation to prevent damage being done to the soil by inappropriate use of waste. Maintaining healthy levels of organic matter in soils must be a cornerstone of soil quality maintenance and sustainable soil development.

Improvements in organic matter levels will go some way to improving soil structure and lessening compaction. Natural compaction is difficult to improve. It usually involves deep cultivation of the soil with heavy machinery. Man-made compaction is easier to redeem because it is mainly, though not solely, damage to the topsoil and hence more easily available to machinery for disturbance of the compaction. The principal man-made compaction damage is by agricultural machinery working the land when the soil moisture content is too high and by overstocking of the land by livestock again when the soil is too wet. A combination of maintenance of organic matter levels and choice of farming systems that free the farmer or other land user from working the soil when it is too wet would remove most of the problems of man-made soil compaction. Similarly, where land is used for livestock, the number of livestock should be appropriate to the soil type and moisture conditions to avoid compaction from overstocking.

There is little doubt that soil erosion is an increasing problem in Western Europe. No country can afford to have its resources degraded beyond redemption. It has been difficult to get policy makers to accept that erosion is a major

issue to be dealt with. However, the fact that erosion is now being seen as a primary mechanism for the movement of would be pollutants from land to water is causing concern and may now lead to the European Environment Agency calling for legislation to reduce erosion.

The causes of erosion are generally known and in most of Western Europe it would be possible to prescribe agricultural systems suitable for particular areas of land. This now needs to be done for vulnerable landscapes. Using the now considerable knowledge of the soils of Western Europe, it is possible to identify the problem areas and with the support of models such as EUROSEM for predicting the likelihood of erosion (Morgan et al., in press a & b) and the vast knowledge internationally of soil conservation methods, agricultural systems adapted to these vulnerable landscapes need to be introduced. The Common Agricultural Policy has been responsible to a large extent for the increase in soil erosion because it encouraged well subsidised crops to be grown on land that was unsuitable for the particular crops because of its vulnerability to erosion. It will be interesting to see the extent to which CAP will be modified in ways that will check the increase in soil erosion. The information base is largely in place - it now needs the driving force of a policy.

Acidification is not a major problem in most of Western Europe where the land is being used for agriculture. The main problems are on forested lands where few if any liming measures are carried out and there is, therefore, little compensation for the acidifying effects of acid rain and the largely coniferous plantations that are established. An added problem is that the buffering capacity of many of these soils is very low and hence is their resistance to various forms of degradation. Now that the emissions leading to acid rain are being addressed, one of the major acidifying influences is being reduced. Further improvements could be brought about by introducing mixed plantations which contain a proportion of less acidifying species although the drawback of using less acidifying deciduous

species is that in the climate of Western Europe they are slow growing and hence uneconomic in a commercial sense. Increasingly, there is information available on soil types and their properties and it should be possible to afforest and reforest with species better suited to the native soil properties, more than has been the case in the past.

One of the major areas of concern at present is the fate and behaviour of chemicals applied to the soil, particularly nitrates, phosphates and pesticides. The soil is an important regulator of this fate and behaviour. With respect to nitrates while the vulnerability of soils to leaking nitrates to aquifers can readily be predicted, there is then the need to modify the amounts of nitrates fertiliser added particularly to the vulnerable soils. In some West European countries already Nitrate Vulnerable Zones have been identified and the amounts of nitrate fertiliser that can be added has been regulated in these zones.

The solution is not a simple one since yield and economic return are greatly dependent on the ability to use nitrogen fertiliser. Much research has been undertaken in recent years to investigate changes in management of agricultural systems to limit the losses of nitrate. Examples include improvements to the timing of nitrogen applications in relation to crop needs, the use of cover crops such as rye, turnips, white mustard, forage rape and the management of manures.

Most phosphate transfer from land to other parts of the environment results mainly from soil erosion. Hence measures that will reduce erosion will benefit reductions in loss of phosphorus from the land. Some leaching of phosphorus can take place in the soil (Heckrath et al., 1995) but early indications are that it is associated with high levels of phosphorus, higher than are usually found in most soils. Further research needs to be undertaken to verify this. A combination of erosion prevention measures and a regime which seeks to restrict the amounts of phosphorus applied to actual crop needs would reduce the current problems with respect to phosphorus transfer in the environment.

Pesticide fate and behaviour is more complex than that of phosphorus or nitrogen and a wider range of factors control it. To understand the fate and behaviour of pesticides in soils, it is essential to understand the properties and processes related to the soils in which pesticides are to be applied. Applications should be crop, land management and soil specific. If the inter-relationships of these factors are well understood, there is the opportunity for more precise prescriptions for the application of pesticides which would be expected to reduce the problem of pesticides in ground and surface waters.

CONCLUSIONS

There are a number of fundamental requirements for the successful sustainable management of West European soils:

- a. a good understanding of the nature of the soils and their properties.
- b. strong national soil/land databases which can be regularly added to and which provide the basic information on which to develop a sustainable soil development policy and put it into practice.
- c. a knowledge of soil quality, and the soil quality requirements for the particular land uses. This will involve identifying the important parameters that indicate soil quality and the ability to be able to monitor changes in these parameters over time and under different types of land use. There is a major weakness currently in that very little trend data occurs for the soils of Western Europe. Most such data are restricted to experimental farms, and national overviews are lacking.
- d. a much better understanding of the effect of particular types of land use and management practice on the soil i.e. what is the impact over a year, a decade, a century or other set of suitable time scales.

- sewage sludge and agricultural wastes. In: H. Barth and P. L'Hermité (Eds.): *Scientific Basis For Soil Protection In The European Community*. Elsevier. pp. 181-210.
- SECRETARIAT D'ÉTAT AUPRÈS DU MINISTRE CHARGÉ DE L'ENVIRONNEMENT. 1988. *L'Observatoire De La Qualité Des Sols*. Neuilly-Sur-Seine, France.
- SHARPLEY, A.N. and WITHERS, P.J.A. (1994). The environmentally sound management of agricultural phosphorus. *Fertilizer Research*, 39, 133-146.
- SOANE, B.D. and VAN OUWERKERK. (Eds.) 1994. *Soil Compaction in Crop Production*. Elsevier, Amsterdam.
- STANNERS, D. and BOURDEAU, P. 1995. *Europe's Environment*. The Dobbris Assessment. European Environment Agency, Copenhagen.
- STIGLIANI, W. M. (Ed). 1991. *Chemical Time Bombs: definitions, concepts and examples*. International Institute for Applied Systems Analysis, Executive Report 16, Laxenburg.
- SUETT, D.L., BROMILOW, R.H., DYSON, J.S., WALKER, A. and WILKINS, R.M. 1996. *Pesticides in the Soil Environment*. COST Symposium, Stratford-on-Avon, 13-15, May 1996.
- TER MEULEN, G.R.B., STIGLIANI, W. M., SALOMANS, W., BRIDGES, E.M. and IMESON, A.C. 1992. *Chemical Time Bombs*. Proceedings of the European State-of-the-Art Conference on Delayed Effects of Chemicals In Soils and Sediments. Veldhoven, The Netherlands. 2-5 September 1992.
- ULRICH, B. 1987. Impacts on soils related to industrial activities: Part IV Effects of air pollutants on the soil. In: H. Barth and P. L'Hermité (Eds.): *Scientific Basis For Soil Protection In The European Community*. Elsevier Applied Science, Amsterdam. pp. 299-311.
- UNITED KINGDOM REVIEW GROUP ON IMPACTS OF ATMOSPHERIC NITROGEN. 1994. *Impacts of Nitrogen Deposition in Terrestrial Ecosystems*. Department of the Environment, London.
- UNITED NATIONS, 1992. *Earth Summit*. Press Summary of Agenda 21. United Nations Conference on Environment and Development. Rio de Janeiro, Brazil, 3-14th June 1992, Department of Public Information, United Nations. 42pp
- VAN LYNDEN, G.W.J. 1994. *The European Soil Resource*. Steering Committee for the Protection and Management of the Environment and Natural Habitats. ISRIC, Wageningen.

LOS SISTEMAS DE EVALUACION DE SUELOS EN LA PLANIFICACION DEL TERRITORIO

DIEGO DE LA ROSA

Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla, CSIC
Apartado 1052, 41080 Sevilla, <http://www.irnase.csic.es>

INTRODUCCIÓN

La idea de desarrollo sostenible es radicalmente diferente al crecimiento socio-económico actual en base al consumo o degradación de los recursos. En el mejor de los casos, los sistemas actuales de producción con tecnología "end of pipe" (tecnología ambiental convencional) tratan tan solo de transformar los residuos generados en otras sustancias de más fácil tratamiento o control. Sin embargo, los sistemas integrados de producción, indispensables para conseguir un verdadero desarrollo sostenible, conllevan un nuevo planteamiento tecnológico dirigido a reducir no solo la generación de residuos y emisiones, sino también el consumo de energías y recursos. Para introducir estos sistemas integrados (tecnología ambiental avanzada) resulta imprescindible la planificación medioambiental a largo plazo. El Programa Holandés de Desarrollo Sostenible (STD, 1994) representa uno de los escasos ejemplos de planificación medioambiental, con objetivos concretos cuantificados a medio y largo plazo y escenarios temporales de cambio muy específicos. De acuerdo con las previsiones de la Comisión Europea a través del Instituto de Prospectiva Tecnológica de Sevilla, la generalización de estos esquemas de mayor eficiencia energética

y de recursos está muy lejos de lo que parece técnicamente posible en los próximos cincuenta años (Coenen y Klein-Vielhauer, 1997).

En cualquier caso, el propósito fundamental de la planificación es el acierto y precisión en la toma de decisiones sobre las actividades productivas. La planificación medioambiental, cuya parte esencial corresponde a la planificación del territorio, trata de acertar al decidir sobre los usos del territorio y el diagnóstico de los problemas ambientales. La teoría de la decisión es una rama fundamental de la investigación operativa y de la gestión de recursos, y su metodología se viene desarrollando en la frontera entre la matemática aplicada y las tecnologías de la información. En el pasado, los procesos de toma de decisiones se consideraban como optimizaciones matemáticas racionales sencillas, basadas principalmente en la programación lineal y en técnicas gráficas. Sin embargo, esta excesiva simplificación daba lugar a representaciones de sistemas alejadas de la realidad y, por consiguiente, de aplicaciones prácticas muy limitadas. En los últimos veinte años, junto con el desarrollo espectacular de las tecnologías de la información, la teoría de la decisión ha evolucionado y propiciado la aparición de los llamados Sistemas Integrados de Apoyo a la Decisión. Se trata de sistemas informáticos, basados en técnicas avanzadas de

ingeniería del software, y que incorporan avances de otras disciplinas sobre el comportamiento humano y la teoría del conocimiento.

En el ámbito de los sistemas integrado de apoyo a las decisiones medioambientales, la evaluación de suelos se convierte en el elemento esencial. Tal y como se esquematiza en la Figura 1, la información y el conocimiento sobre el medio ambiente y sus recursos se combina con el uso continuado de las nuevas tecnologías de la información y las comunicaciones. Este esquema agro-ecológico, que viene desarrollando el Grupo de Evaluación de Suelos del Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla (De la Rosa, 1996), responde a una verdadera ingeniería de la información y el conocimiento

sobre multitud de variables edáficas, climáticas, de cultivos y manejo agrícola y de atributos socio-económicos; mediante el desarrollo y aplicación de programas de ordenador, bases de datos, sistemas expertos, simulación dinámica, redes neuronales artificiales, sistemas de información geográfica y recursos Web, entre otras nuevas tecnologías. A lo largo de esta ponencia se muestra una selección de resultados conseguidos por este Grupo de Investigación, que dejan entrever la reciente transición desde la "vieja" ciencia del suelo a la "nueva" ciencia de los recursos naturales a través del "caos digital" que han ocasionado los últimos avances en los terrenos de la informática y las comunicaciones.

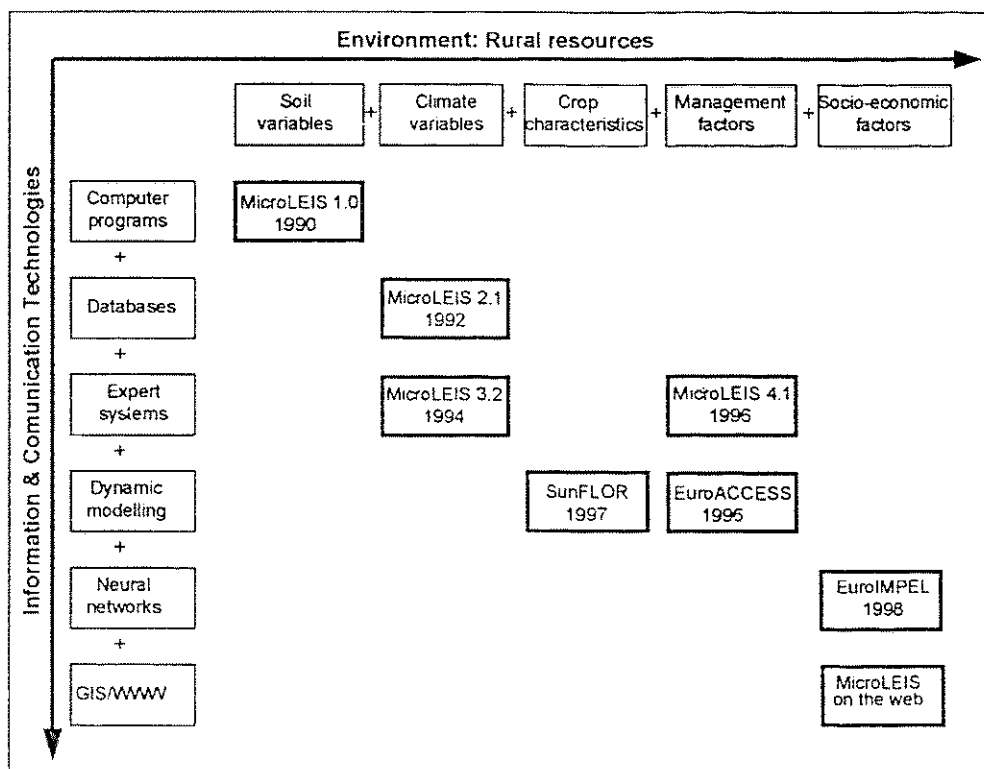


Figura 1. Combinación de información medioambiental y tecnologías de la información y las comunicaciones en el desarrollo de sistemas de evaluación de recursos naturales.

EVALUACIÓN DE SUELOS

El objetivo fundamental de la evaluación de suelos es comparar los requerimientos de los usos del territorio con las potencialidades y limitaciones de las unidades territoriales (Dent y Young, 1981). Se trata de pronosticar la aptitud relativa para un uso específico, mediante el análisis de las características y cualidades de las unidades-tierra (FAO, 1976). Las características son simples atributos territoriales que pueden ser medidos o estimados, mientras que las cualidades se componen de un conjunto de características relacionadas con los requerimientos y que determinan la aptitud relativa. Tanto unas como otras se refieren no solo a los aspectos positivos o potencialidades de los suelos (ej. capacidad productiva) sino también a los aspectos negativos o limitaciones (ej. vulnerabilidad a la degradación).

Un criterio fundamental que caracteriza a los estudios de evaluación de suelos es la utilización casi exclusiva de la información facilitada por los reconocimientos de suelos, así como el uso preferente de una resolución temporal mensual en los datos climáticos. Aunque se hace indistinto uso de la expresión "evaluación de suelos", son claramente identificables las unidades de estudio: suelo, tierra y campo. En términos generales, para la unidad-suelo se analizan exclusivamente variables de suelo y lugar; la unidad-tierra incluye además los factores climáticos; y la unidad-campo contempla también los atributos de manejo agrícola

POTENCIALIDADES DE USO

En el desarrollo del proceso de evaluación de suelos, resulta prioritario conocer la capacidad general de uso de las tierras, es decir, segregar las mejores tierras agrícolas de aquellas que presentan una aptitud moderada y de aquellas otras que son claramente marginales e incluso improductivas (ej. Land Capability Classification system; Klingebiel y Montgomery, 1961). En la

realidad, los usos agrícolas, forestales y naturales deberían de estar íntimamente asociados con dicha clasificación.

Una vez definida la vocación agro-ecológica de las tierras, el paso siguiente consiste en precisar la capacidad productiva de cada unidad territorial a nivel de cultivo (ej. Riquier et al., 1970). Para ello es imprescindible precisar los requerimientos edafoclimáticos de los principales cultivos, modelando su desarrollo vegetativo. Además de definir el uso productivo ideal, es igualmente necesario establecer las normas o prácticas de manejo correspondientes. La definición científica de estas prácticas de manejo, como un nuevo límite agro-ecológico, se ha de hacer también de acuerdo con las particularidades de cada suelo, clima y tipo de utilización. Con la introducción de las prácticas agrícolas se consigue hacer evaluación de suelos a nivel de fincas, ofreciendo resultados realmente útiles para los agricultores (Bouma et al., 1993).

Entre otras potencialidades de uso son también predecibles para los sistemas de evaluación la fertilidad natural de los suelos (ej. FCC system; Sanchez et al., 1982), la manejabilidad para las labores agrícolas, la regabilidad (ej. Bureau of Reclamation system; USDA, 1953), etc.

RIESGOS DE DEGRADACIÓN

La evaluación de suelos se ha de desarrollar teniendo también en consideración los procesos degradativos de los ecosistemas como principales indicadores de la desertificación. La erosión hídrica es el más relevante elemento degradativo de los suelos, muy especialmente en las zonas mediterráneas. Riesgos de erosión, sedimentación e inundación se tratan de predecir de forma conjunta o separada, encerrando una gran complicación por los múltiples procesos y variables que interfieren e interaccionan (ej. WEPP project; Flanagan y Nearing, 1995).

En segundo lugar, es evidente la creciente importancia de los problemas de contamina-

ción de suelos y aguas por compuestos agroquímicos, ya sean abonos, pesticidas, metales pesados u otros (Stigliani, 1991). Por ello, el análisis de los niveles de contaminantes en los suelos resultan actualmente tan necesarios como los correspondientes a los niveles de nutrientes. A su vez, la pérdida creciente de calidad de las aguas de riego y en especial su mayor contenido en sales solubles, acentúa aun más la gravedad del problema y la necesidad de predecir los riesgos de salinización. Por último, el saber de cada suelo su capacidad agronómica para digerir residuos, bien sea urbanos, industriales o agrícolas, resulta actualmente tan necesario como conocer su capacidad agrológica para producir cosechas.

INDICADORES DE LA SOSTENIBILIDAD

Las actividades productivas no solo afectan al entorno más próximo o local sino que también inciden en el comportamiento del medio ambiente de todo el planeta. Esta visión global y a largo plazo tiene que ser también contemplada por los estudios de evaluación. Los suelos, tanto agrícolas como forestales y naturales, están resultando ser uno de los principales emisores/sumideros de gases contaminantes a la atmósfera. Las más recientes previsiones elevan drásticamente las emisiones de gases nitrogenados referidas a los cultivos agrícolas de regadío. Los arrozales parecen que son también importantes emisores de gas metano a la atmósfera. Sin embargo, se trata de procesos muy complejos que requieren de un mayor conocimiento, ya que por ejemplo un mismo cultivo durante ciertos períodos fenológicos puede actuar como emisor y durante otros como sumidero.

Como la otra cara de la misma moneda, el impacto de las posibles perturbaciones climáticas, ya sean producidas por causas naturales o antrópicas, tiene que ser tenida en consideración a la hora de establecer los límites ecológicos de las actividades productivas. Sobre los nue-

vos escenarios de cambio global, incluyendo cambio climático y cambio de uso actual del territorio, es necesario pronosticar el aumento o disminución tanto de la capacidad productiva como de los riesgos de degradación en cada zona (ej. EuroACCESS model; Loveland y Rounsevell, 1996).

METODOLOGÍA DE LA EVALUACIÓN

En la actualidad, un sistema de evaluación de suelos incluye una serie de componentes integrados para desarrollar tareas de inventario, evaluación y planificación del territorio, tal y como considera, el sistema AEZ: Agro-Ecological Zoning (FAO, 1995) o el sistema MicroLEIS: Microcomputer-based Land Evaluation Information System (De la Rosa, 1996; Figura 2). Estos componentes se pueden agrupar, de acuerdo con la tecnología informática predominantemente utilizada, de la siguiente forma: bases de datos, modelación empírica cualitativa, modelación empírica cuantitativa, simulación dinámica, automatización de la aplicación, generación de escenarios y conexión con los sistemas GIS/WWW.

BASES DE DATOS Y EXPERIENCIA

A partir del universo informativo generado por los inventarios de recursos naturales, las tecnologías de la información permiten construir grandes bases de datos fáciles de utilizar, recogiendo información de fuentes diversas y en una amplia variedad de formatos. Sobre el número de variables que almacenan estas bases de datos puede dar una idea las consideradas por el sistema MicroLEIS 4.1 (Tabla 1).

En la Figura 3 se muestra un esquema general de la base de datos de perfiles de suelos SDBm (FAO-ISRIC-CSIC, 1995; De la Rosa, 1996) donde se pueden observar los distintos tipos de datos de entrada, así como las principales prestaciones: importación y exportación de

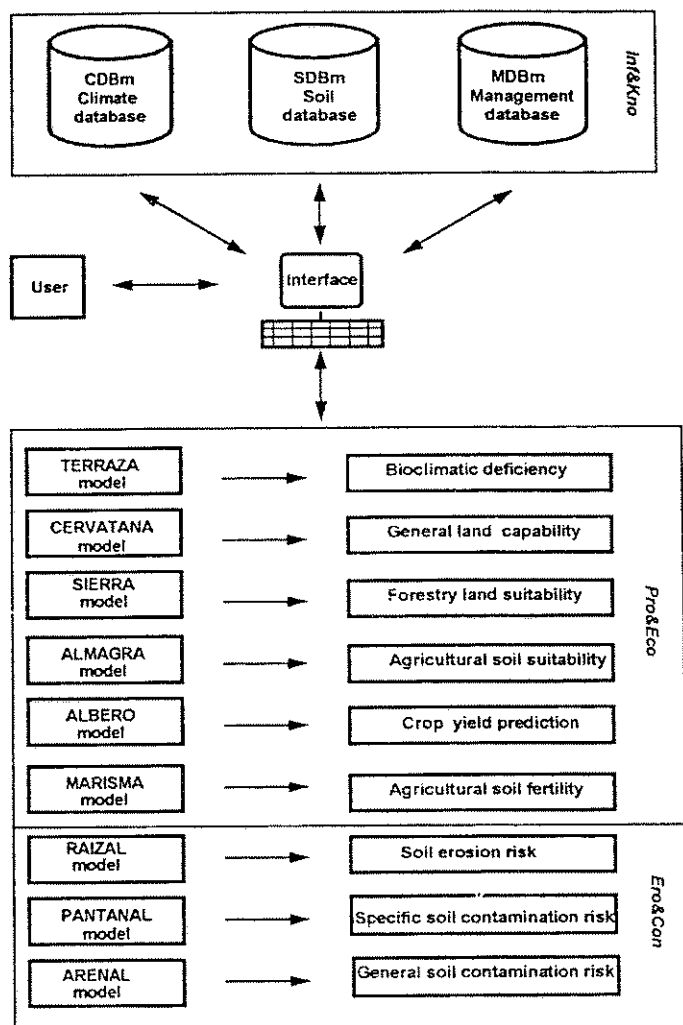


Figura 2. Esquema general del sistema de evaluación agro-ecológica de suelos MicroLEIS 4.1.

datos, cambio de idioma, sistema de códigos, descripciones convencionales, representaciones gráficas y generación de capas de suelo como interfase con los modelos de evaluación. La Tabla 2 presenta una relación de todas las variables de suelo almacenadas, que se agrupan como: descripción del lugar, descripción morfológica del perfil, datos analíticos convencionales, datos de sales solubles y datos de determinaciones físicas.

En la Figura 4 se muestra un esquema general de la base de datos climáticos CDBm (De la Rosa, 1996) donde se destacan los tipos de datos de entrada, así como las principales prestaciones: importación y exportación de datos, cambio de idioma, representaciones gráficas, cálculo de variables derivadas y generación de resúmenes como interfase con los modelos de evaluación. La Tabla 3 presenta una relación de todas las variables climáticas inclui-

Tabla 1. Número de variables incluidas en las bases de datos sobre recursos naturales que considera el sistema MicroLEIS 4.1.

Variables group	Number	Total
<u>SDBm soil profile database</u>		
Site description	33	
Morphological description (for 4 soil horizons)	176	
Standard analytical data (for 4 soil horizons)	96	
Soluble salts analytical data (for 4 soil horizons)	52	
Physical analytical and field data (for 4 soil horizons)	41	398
<u>CDBm monthly climate database</u>		
Station/dataset identification	4	
Observed parameters (for a period of 30 years)	3600	
Calculated parameters	42	
Simulated daily parameters	1080	4726
<u>MDBm agricultural management database</u>		
Dataset identification/farm description	15	
Parcel description	12	
Cropping characteristics	11	
Operations (for a sequence of 6 operations)	60	
Behaviour observations	11	109
		5233

das, que se agrupan como: identificación de la estación meteorológica, variables observadas, variables calculadas y variables diarias simuladas.

En la Figura 5 se muestra un esquema general de la base de datos/experiencia sobre manejo agrícola MDBm (De la Rosa, 1996) donde se destacan los tipos de datos de entrada, así como las principales prestaciones: importación y exportación de datos, cambio de idioma, sistema de códigos y glosario, presentación de resultados y generación de resúmenes como interfase con los modelos de evaluación. Se trata de un capturador de experiencia georeferenciada a unidades edáficas, a través de encuestas directas a agricultores y técnicos. La Tabla 4 presenta una relación de todas las variables de manejo incluidas, que se agrupan como: identificación

de la finca, descripción de la parcela, características del cultivo, secuencia de operaciones y observaciones sobre comportamiento.

CONSTRUCCIÓN DE MODELOS

La construcción de modelos se ha convertido en un elemento básico del método científico, utilizándose para ello una gran variedad de técnicas. Un modelo es una simplificación de la realidad que considera las relaciones más sobresalientes para explicar el sistema en estudio. La metodología clásica en modelación incluye el desarrollo de un modelo teórico, adquisición de datos sobre un sistema piloto, calibración y validación del modelo con los datos reales, y refinamiento, estandarización y automatización de su aplicación.

Tabla 2. Relación de variables de suelo incluidas en la base de datos SDBm (MicroLEIS 4.1).

Variable name	
<u>1. Site description</u>	
Author(s)	Species
Soil climate	Parent material
Topography	Parent rock
Landform	Drainage: class - internal - external
Land element	Watertable: depth - type
Position	Moisture condition
Slope: class - form	Effective soil depth
Micro topography	Human influence
Flood: frequency - duration	Stones: size - abundance
Land use type	Rock outcrops: abundance - distance
Crops	- height
Vegetation type	Erosion: type - intensity
Grass/forb cover	Sealing/crusting
<u>2. Morphological description (for each soil horizon)</u>	
Color modifier	Rock fragments: abundance- size
Mottles: abundance - size- contrast - boundary	- shape - weathering - nature
- color	Nodules: abundance - size - kind
Texture	- shape - hardness - nature - color
Structure: grade - size - type - relation	Carbonates
Consistence: dry - moist - stickiness - plasticity	Biol features: abundance- kind
Cutans: quantity - contrast - nature - location	Boundary: width- topography
Cem/Comp: continuity - structure - grade - nature	Voids type
Pores/Roots: abundance - size	Porosity
<u>3. Standard analytical data (for each horizon sample)</u>	
pH: H2O - other	Exchangable cations: Ca - Mg - K- Na
EC	Particles size. sand: very coarse
P	- coarse - medium - very fine;
Organic C - N	silt: coarse - fine: and clay
K fixed	CaCO ₃ : total - active
CEC: soil - clay	CaSO ₄
<u>4. Soluble salts analytical data (for each horizon sample)</u>	
pH	B
EC	CO ₃
Ca	HCO ₃
Mg	CL
K	SO ₄
Na	NO ₃
	SAR
<u>5. Physical analytical and field data (for each horizon sample)</u>	
Infiltration: Basic infiltration (average of 3)	Water retention. moisture content: 0.03bar
Surface structure stability index	- 0.05bar - 0.1bar - 0.3bar -1bar - 3bar- 5bar
Bulk density	-15bar

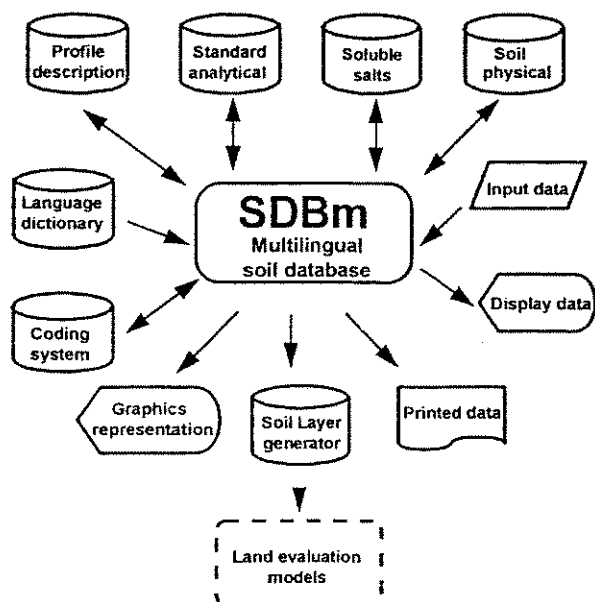


Figura 3. Esquema general de la base de datos de perfiles de suelos SDBm, como módulo integrado en el sistema MicroLEIS 4.1.

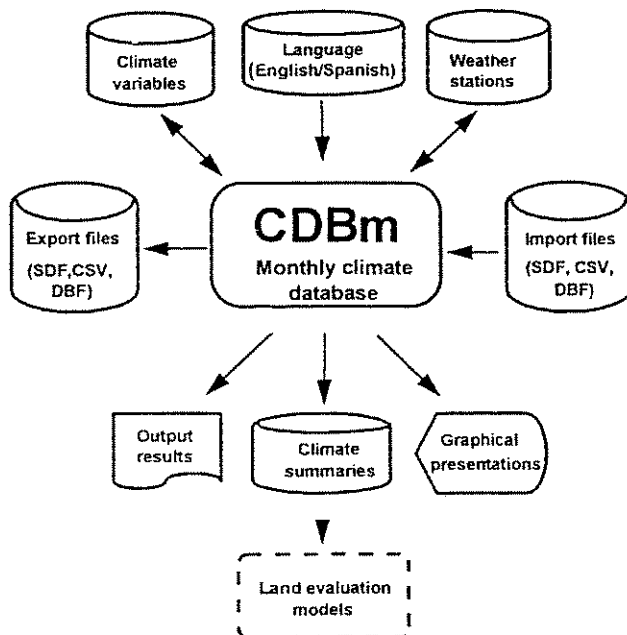


Figura 4. Esquema general de la base de datos climáticas CDBm, como módulo integrado en el sistema MicroLEIS 4.1.

Tabla 3. Relación de variables climáticas incluidas en la base de datos CDBm (MicroLEIS 4.1).

Variable name	Unit
<u>1. Station/dataset identification</u>	
Climate dataset identifier (weather station code)	
Latitude	<i>degrees, min, sec</i>
Longitude	<i>degrees, min, sec</i>
Altitude	<i>m</i>
<u>2. Observed parameters</u>	
Mean temperature	<i>°C</i>
Maximum temperature	<i>°C</i>
Minimum temperature	<i>°C</i>
Precipitation	<i>cm or mm</i>
Maximum precipitation per day	<i>cm or mm</i>
Days of precipitation	<i>number of days</i>
Days of precipitation with >1mm	<i>number of days</i>
Days of precipitation with >10mm	<i>number of days</i>
Days of precipitation with >30mm	<i>number of days</i>
Extraterrestrial radiation	<i>MJ m⁻² d⁻¹</i>
<u>3. Calculated parameters</u>	
Potential evapotranspiration, Thornthwaite	<i>cm or mm</i>
Potential evapotranspiration, Hargreaves	<i>cm or mm</i>
Day length	<i>hours</i>
Growing season or vegetative period (annual)	<i>number of months</i>
Humidity index (annual)	
Aridity index (annual)	<i>number of months</i>
Modified Fournier index (annual)	
Precipitation concentration index (annual)	<i>%</i>
Arkley index (annual)	
<u>4. Simulated daily parameters</u>	
Julian day number (1st January = 1)	
Maximum temperature	<i>°C</i>
Minimum temperature	<i>°C</i>

Modelación empírica

En la modelación empírica, aunque resulte necesario el conocimiento de los procesos que tienen lugar en el sistema a modelar, no se pretende analizar el funcionamiento de tales procesos. A partir de un conjunto de variables de entrada, se trata de explicar el comportamiento del sistema a través de una o varias variables respuestas (es la metodología conocida como de "black box"). Entre los modelos empíricos son fácilmente diferenciables los que utilizan simples procedimientos cualitativos, de los que manejan cuantitativamente la información.

Los modelos empíricos cualitativos han sido, hasta hace relativamente pocos años, casi los únicos procedimientos utilizados en evaluación de suelos. El sistema Land Capability Classification (Klingebiel y Montgomery, 1961)

es el ejemplo más representativo y utilizado de todos ellos. En esencia, estos sistemas de clasificación (tablas de evaluación) siguen un esquema Booleano (basado en reglas) y suelen adoptar el principio del máximo factor limitante (ley del mínimo de Liebig) para segregar un número de clases entre cinco y ocho (ej. S1, S2, S3, N1 y N2, como el más convencional). Los resultados de estos sistemas dependen de las reglas elaboradas de acuerdo con otras metodologías previas y con la experiencia capturada de los usuarios y especialistas en el fenómeno a evaluar (ej. producción del cultivo de trigo).

La rígida metodología de la lógica Booleana determinada por las características limitantes del suelo está siendo reemplazada por otras más flexibles, tales como la lógica difusa (Burrough, 1989), que mejor se ajustan a la evaluación de los recursos naturales (Davidson, 1992).

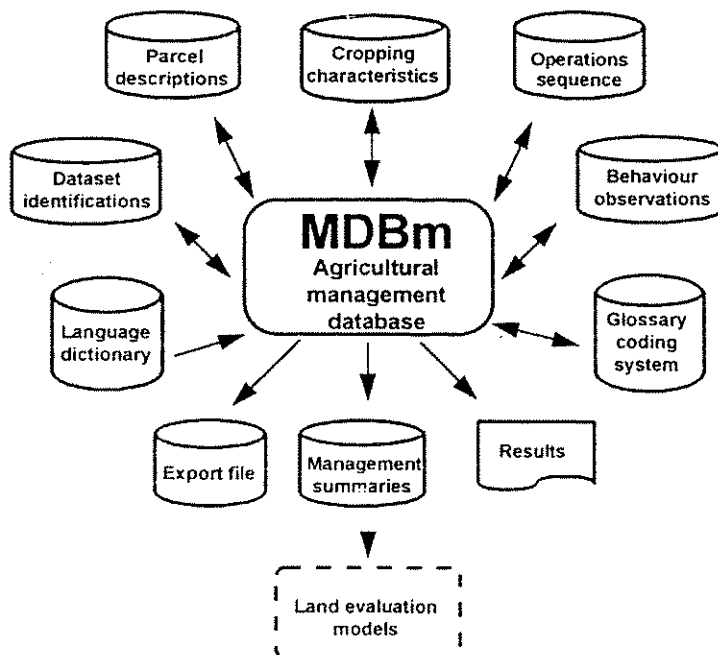


Figura 5. Esquema general de la base de datos de manejo agrícola MDBm, como módulo integrado en el sistema MicroLEIS 4.1.

Dentro también de la modelación empírica cualitativa, aunque aproximándose a las técnicas propias de la inteligencia artificial, los árboles de decisión como elementos esenciales de los sistemas expertos están resultando de gran utilidad en la evaluación de suelos, dada su transparencia y facilidad de elaboración y aplicación. El esquema marco de Rossiter (1990) para desarrollar sistemas expertos de evalua-

ción, facilita grandemente la elaboración de reglas y construcción de los árboles de decisión, así como su posterior aplicación en un escenario determinado. En la Figura 6 se presenta una sección del árbol de decisión desarrollado para la cualidad de manejo "protección del cultivo" en el modelo IMPEL-SEEM de evaluación de los riesgos de erosión de suelos (De la Rosa et al., 1997). Todas las cualidades de tierra y

Tabla 4. Relación de variables de manejo agrícola incluidas en la base de datos MDBm (MicroLEIS 4.1).

Variable name	
<u>1. Dataset identification/Farm description</u>	
Country	Max., Min. longitude
Region	Tenancy arrangement
Province	Holder's name
Natural region	Respondent's name
Municipal term	Enumerator's name
Farm name	Enumeration date
Farm size, <i>ha</i>	Information source
Max., Min. latitude	
<u>2. Parcel description</u>	
Topographic sheet	Altitude, <i>m</i>
Cadastral polygon	Infrastructure kind
Parcel name	Infrastructures type
Parcel size, <i>ha</i>	SDBm soil ref.
Max., Min. latitude	CDBm climate ref.
Max., Min. longitude	Project
<u>3. Cropping characteristics</u>	
Cropping system	Leaf duration
Crop type (cultivar)	Row spacing, <i>m</i>
Seed rate, <i>kg/ha</i>	Residues treatment
Seed quality	Farming year
Growing season length, <i>day</i>	Crop rotation
Plant height, <i>m</i>	
<u>4. Operations (for a sequence of <i>n</i> operations)</u>	
Operation type	Material input kind
Operation timing	Material input type
Power (tractor)	Material input rate, <i>kg/ha</i>
Implement type	Labour input
Implement origin	Work rate, <i>h/ha</i>
<u>5. Behaviour observations</u>	
Management level	Soil erosion status
Tillage system	Soil contamination status
Product type	Soil salinisation status
Product purpose	Subsoil compaction status
Product yield, <i>t/ha</i>	Remarks
Product quality	

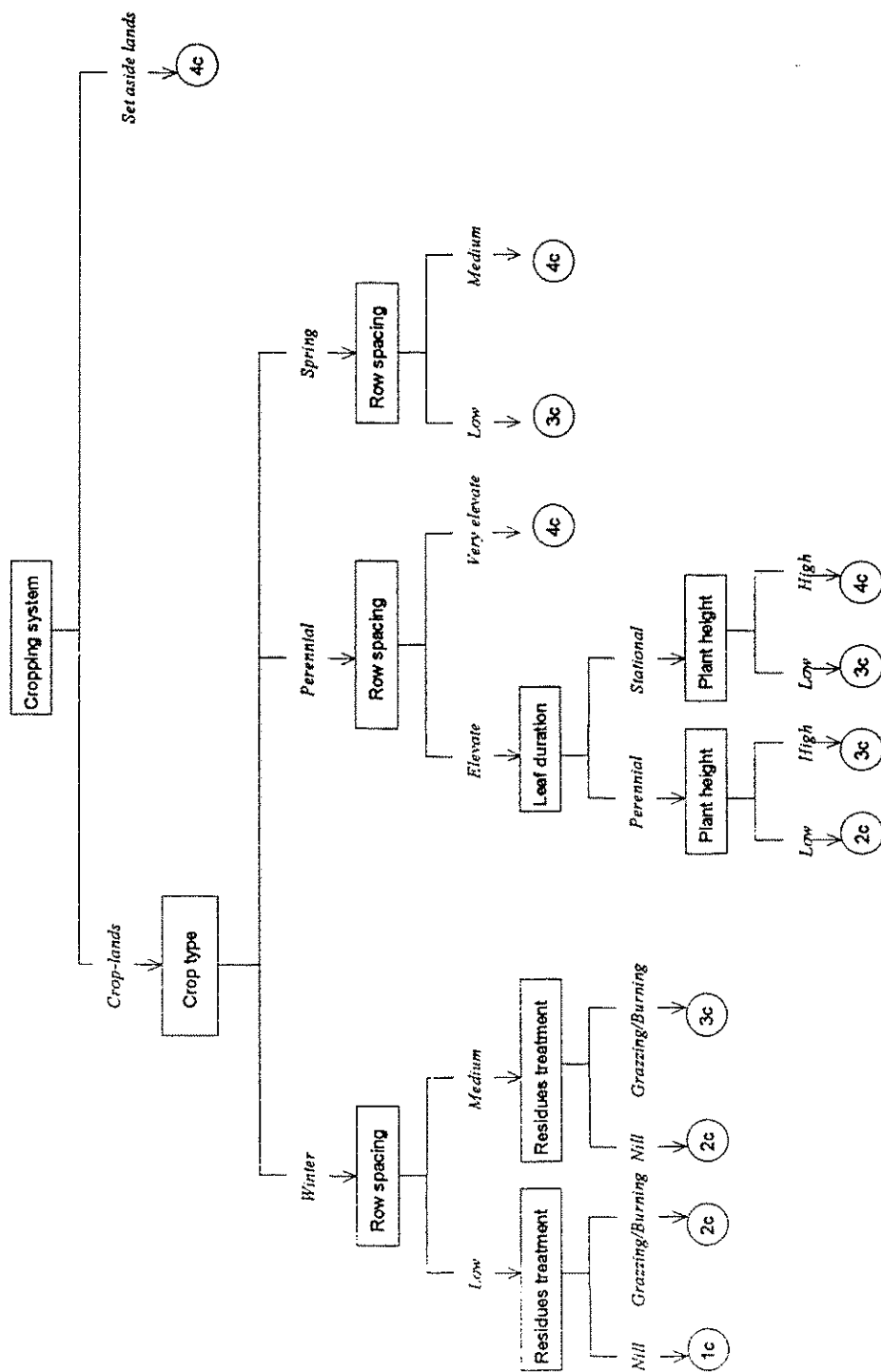


Figura 6. Sección del árbol de decisión desarrollado para la cualidad de manejo "Protección del cultivo" en el modelo IMPEL-SEEM de evaluación de los riesgos de erosión de suelos.

BIBLIOGRAFÍA

- BARROS, J.M.C. 1997. *Quantitative analysis of selected land-use systems with sunflower*. Doct. Thesis, (Directores: J. Bouma, D. de la Rosa y P. Driessen), Wageningen Agric. Univ., Wageningen.
- BAUGHMAN, D.R. and LIU, Y.A. 1995. *Neural networks in bioprocessing and chemical engineering*. Academic Press, London.
- BOUMA, J., WAGENET, R.J., HOOSBEEK, M.R. y HUTSON, J.L. 1993. Using expert systems and simulation modelling for land evaluation at farm level: a case study from New York State. *Soil Use and Management* 9: 131-139.
- BURROUGH, P.A. 1989. Fuzzy mathematical methods for soil survey and land evaluation. *Journal of Soil Science* 40: 477-492.
- CLARK UNIVERSITY. 1996. *IDRISI system*. V. 2. Software + Documentation. Worcester, MA.
- COENEN, R. y KLEIN-VIELHAUER, S. 1997. Importancia de la tecnología medioambiental para el desarrollo sostenible desde el punto de vista económico y ecológico. *IPTS Report* 14: 5-13.
- DAVIDSON, D.A. 1992. *The evaluation of land resources*. Longman. Londres.
- DE LA ROSA, D., CARDONA, F. y ALMORZA, J. 1981. Crop yield predictions based on properties of soils in Sevilla, Spain. *Geoderma* 25: 267-274.
- DE LA ROSA, D. (ed.). 1996. *MicroLEIS Version 4.1*: Software + Documentation. IRNAS Pub., versiones en español e inglés. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Sevilla.
- DE LA ROSA, D., MAYOL, F., MORENO, J.A. y BONSON, T. 1997. *IMPEL-SEEM submodel to predict soil erosion and its effect on the productivity of soils*. EuroIMPEL project. Contract no. ENV4-CT95.0114. CEC-DGXII.
- DENT, D. y YOUNG, A. 1981. *Soil survey and land evaluation*. George Allen & Unwin. London.
- DRIESSEN, P. y KONIJN, N. 1992. *Land-use system analysis*. Wageningen Agric. Univ. Wageningen.
- FAO. 1976. *A framework for land evaluation*. Soils Bull. 32, FAO Pub. Roma.
- FAO. 1983. *Guidelines: land evaluation for rainfed agriculture*. Soils Bull. No. 52, FAO Pub. Roma.
- FAO. 1984. *Provisional methodology for assessment and mapping of desertification*. FAO-UNEP Pub. Roma.
- FAO. 1990. *Guidelines for soil profile description*. 3rd edition. FAO Pub. Roma.
- FAO. 1995. *Agro-ecological zoning. Guidelines*. FAO Pub. Roma.
- FAO-ISRIC-CSIC. 1995. *SDBm: Multilingual soil database*. World Soil Resources Report No. 81. FAO Pub. Roma.
- FLANAGAN, D.C. y NEARING, M.A. (eds.). 1995. *USDA-Water erosion prediction project (WEPP). Hillslope profile and watershed model documentation*. NSERL Report No. 10. USDA-ARS, West Lafayette, IN.
- GUNN, R.H., BEATTIE, J.A., REID, R.E. y VAN DE GRAAFF, R.H. (eds.) 1988. *Australian soil and land survey handbook: Guidelines for conducting surveys*. Inkata Press. Melbourne.
- HERNANDEZ, H. y CANARELLI, P. 1996. *Apoyo a los procesos de toma de decisiones: las restricciones de la información y el papel de las herramientas de extracción y representación de conocimientos*. IPTS Report 10: 24-30.
- KLINGEBIEL, A.A. y MONTGOMERY, P.H. 1961. *Land capability classification*. USDA Agr. Handb. 210, Washington.
- LOVELAND, P. y ROUNSEVELL, M.D. (eds.). 1996. *EuroACCESS: Agroclimatic change and European soil suitability. A spatially-distributed, soil, agro-climatic and soil hydrological model to predict the effects of climate change on land-use within the EC*. Cranfield Univ. Pub., Silsoe, UK.

- RIQUIER, J., BRAMAO, D.H. y CORNET, J.P. 1970. *A new system of soil appraisal in terms of actual and potential productivity*. FAO, AGL: TESR/70/6. Roma.
- ROSSITER, D. 1990. ALES: A framework for land evaluation by using a microcomputer. *Soil Use and Management* 6: 7-20.
- ROUNSEVELL, M. (coord.). 1997. *EuroIMPEL: Integrated model to predict European land use. Spatial modelling at the regional scale of the response and adaptation of soils and land use systems to climate change*. Contract no. ENV4.CT95.0114. CEC-DGXII.
- SANCHEZ, P.A., COUTO, W. y BUOL, S.W. 1982. The fertility capability soil classification system: Interpretation, applicability and modification. *Geoderma* 27: 283-309.
- SIMOTA, C., RAJKAI, K. y MAYR, T. 1996. Chapter 6: Pedotransfer functions en: *ACCESS: Agroclimatic Change and Soil European Suitability*. Volume I: Technical Report (P. Loveland, ed.).
- SOIL SURVEY STAFF. 1975. *Soil taxonomy: A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys*. USDA Soil Cons. Serv., Agric. Handb. No. 436. US Gov. Print. Off., Washington.
- STIGLIANI, W.M. (ed.) 1991. *Chemical time bombs: Definition, concepts and examples*. Exec. Rep. 16, IIASA, Luxembourg.
- STORIE, R.E. 1950. Rating soils for agricultural, forest and grazing use. *Trans. Int. Congr. Soil Sci.*, 4th, 1: 336-339.
- STD, 1994. *Dutch governmental programme for sustainable technology development. Looking back from the future*. STD Brochure.
- US DEPARTMENT OF AGRICULTURE. 1953. Bureau of reclamation manual Vol. 5, *Irrigated land use*. Part 2, Land classification. Washington.

EL SUELO COMO MEDIO FILTRACIÓN, MEDIO DE TAMPONAMIENTO Y DE TRANSFORMACIÓN DE SUBSTANCIAS

WINFRIED E.H. BLUM¹

Una de las mas importantes funciones del suelo - aparte de la producción de alimentos y materias primas - es la filtración, el tamponamiento y la transformación de diversas sustancias nocivas, inorgánicas u orgánicas. Estas sustancias llegan a los suelos por el tráfico, la industria, las actividades urbanas, por el aire, el agua o por transporte terrestre.

Los suelos pueden mecanicamente filtrar sustancias gaseosas, líquidas o sólidas, pueden tamponarlas físico-químicamente, absorberlas, y pueden tambien transformarlas bioquímicamente/microbiológicamente, por mineralización y metabolización. Por estos tres procesos los suelos impiden que sustancias nocivas lleguen al agua subterránea arrastradas por el agua pluvial, o a la cadena alimenticia por ser absorbidas por las raíces. O sea que aquí se trata de una manifiesta función de protección entre la atmósfera, la biósfera y la hidrósfera.

Para esa acción de filtración, tamponamiento y transformación, esencialmente cinco propiedades de los suelos son de mayor importancia:

- La primera es la superficie interior del suelo, o sea la totalidad de las superficies del sistema de poros, lo que corresponde a la totalidad de las superficies de sus paredes. Estos tienen estructuras muy diferentes en los diferentes tipos de suelos.

- Además, un hecho que tiene una importancia decisiva es la composición material de estas superficies internas del suelo, o sea de las paredes de los poros, las propiedades específicas de su estructura y su carga eléctrica (positiva o negativa). Estas superficies interiores de los poros pueden contener minerales de arcilla, tanto como óxidos, sustancias humicas, iones intercambiables y otras materias. Según su composición, su rendimiento referente a la filtración, al tamponamiento y a la transformación es diferente.

- Adicionalmente, los organismos (flora y fauna) en los huecos del suelo son muy importantes. En este contexto, el diámetro de los poros tiene gran importancia, ya que este es el factor decisivo determinando que genero de organismos lleguen a estos huecos y cuales son las diferentes funciones las que puedan ejercer ahí. Así por ejemplo los poros finos, con un diámetro de $<0,2 \mu\text{m}$ no pueden ser habitados por organismos, porque las bacterias mas pequeñas aún tienen un diámetro de aproximadamente $0,45 \mu\text{m}$.

Así es que las sustancias nocivas de índole orgánico que llegan a estos poros finos, ya no pueden ser degradados y cambiados por microbios.

- Además, los valores pH y el potencial redox de la materia sólida en las paredes de los poros y de las soluciones que se hallan dentro de los poros, tienen gran importancia.

- Todo el sistema de tamponamiento, filtración y transformación es influenciado también por la temperatura, que es un factor importante de energía, sobre todo en relación con los procesos microbiológicos.

Detalladamente, y por medio de las imágenes de un microscopio electrónico, se muestran diferentes poros y la composición de sus paredes, y por medio de ejemplos analíticos se explican procesos físico-químicos y microbiológicos los que se desarrollan en el espacio de los poros.

Como conclusión se demuestra que la capacidad de filtración, tamponamiento y transformación de los suelos es de creciente importancia. Además, se comprueba que en diversas áreas los conocimientos son aún insuficientes para comprender las causas de diversos procesos, y que progresos en esta materia se pueden solamente lograr por la estrecha colaboración entre diferentes disciplinas de la ciencia del suelo, como por ejemplo entre la física de suelos, la química de suelos, la físico-química de suelos, la mineralogía, la zoología y la microbiología.

¹ Instituto de Edafología, Universitaet fuer Bodenkultur, Viena, Austria

APPLICATION OF MICROMORPHOLOGICAL METHODS TO THE STUDY OF SOIL SEQUENCES IN THE TROPICS

G. STOOPS

Universiteit Gent, International Training Centre for Post-Graduate Soil Scientists, Laboratorium voor Mineralogie, Petrologie en Micropedologie, Krijgslaan 281, S8, B-9000, Gent, Belgium.

Summary: Soils in the tropics derive their characteristics mainly from their exceptional parent material: deeply weathered saprolite. Soil material is formed by pedoplasation of the saprolite deleting the rock fabric and homogenising the material. As a result of environmental changes phases of erosion and deposition have alternated, resulting in a complex regolith comprising a stone-line and a cover. The overwhelming influence of the saprolitic parent material on the soil characteristics is demonstrated by a comparative study of two soil sequences, one on saprolite and one on uplifted coral reefs in Indonesia.

The characteristics of two profiles in contrasting positions of a toposequence on saprolite in Kalimantan are dominated by the influence of the preweathered parent material. The sequence on uplifted reefs in Ambon clearly shows that in fresh weathering products other soil forming factors, such as age, have a dominant impact.

An effort has been made to compare the presented data with the ideas of the late Kubišna.

Key words: Indonesia, coral reef, micromorphology, pedoplasation

1. INTRODUCTION

Although Oxisols represent only a small part of the soils found in the humid tropics, they are generally considered as the most typical expression of soil formation under warm humid conditions. This may be partially so, but in most cases their characteristics are the result of soil formation in an old preweathered material (Stoops 1989). Indeed, they are formed mainly on very old, relatively stable land surfaces (Buol *et al.* 1980) that have been subjected to at least two, generally more cycles of pedogenic weathering. In the, at present, temperate zones of the higher latitudes (e.g. northern and western Europe, Canada, most of the USA) such regoliths

with old weathering products are practically absent as these materials have been removed during the glaciations, or were rejuvenated by eolian products. In general, but not exclusively, one can state that Oxisols (and associated Ultisols) are rather the result of a specific parent material (strongly weathered saprolite) than that of the influence of the present day climate. This hypothesis is supported by the study of soil sequences on young valleys cutting old geomorphologic surfaces (e.g. De Coninck *et al.* 1986). Interpretation of profiles on such slopes however is commonly complicated by the action of specific surface processes. Comparative study of soils on old plateau's and young parent materials (e.g. volcanic ashes,

recently emerged surfaces) with soils from higher latitudes lead to a same conclusion.

2. THE TROPICAL REGOLITH PROFILE

2.1. General

In situ formed zonal soils in the humid tropics, apart from those on recent alluvial or volcanic deposits, develop in the upper part of a regolith or weathering profile, that can extend tens of meters in depth. The actual soil may be only a few meters deep and is developed in a pedoplasmed material. Below the front of pedoplasmentation the rock structure becomes visible in the soft saprolite, which grades through a more coherent and harder saprock into the fresh rock (Aleva 1994, Ollier and Pain 1996).

This is the ideal complete regolith profile, which in theory can be found all over the world. In reality however, depending upon age, climate and parent rock, some of the zones can be strongly reduced, so that for instance the front of soil formation coincides with that of weathering, yielding a soil directly in contact with the parent rock. This is frequently the case in temperate soils, or in soils on active slopes.

In the humid tropics most regolith profiles are polygenetic, and have a typical feature: a "stone-line" or "stone-layer", corresponding to an old buried surface, beneath a so called "cover" (Fig. 1). The present day soil formation takes place in the "cover". The genesis of this stone-line and cover is not yet unambiguously explained, but it becomes more and more evident that there will not be one single explanation, but several, depending upon the situation. The two most popular theories are (i) the action of termites, and (ii) the process of micropedimentation. Most probably both processes are active, but depending upon the environment one will be dominant. In the case of the termite theory (de Heinzelin 1955, Stoops 1967, Soyer 1987, Stoops 1987) it is supposed that the cover results from the destruction of many generations of large termite mounds by micro-erosion. As the termites go

up to 30 m depth to search for moist material to construct their mounds, new material is constantly added to the cover. This explains

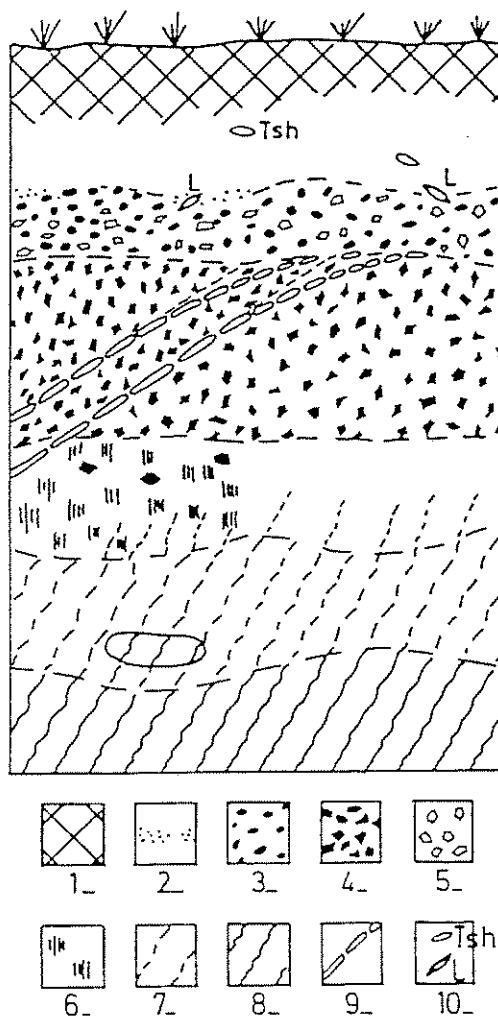


Fig. 1. Regolith with stone-line and cover. 1: epipedon; 2: cover, with coarser zones near the bottom; 3: rounded iron oxyhydrate nodules in transported part of stone-line; 4: angular iron nodules in *in situ* part of stone line; 5: detrital rock fragments; 6: mottled clay; 7: saprolite with boulder; 8: fresh rock; 9: chert band or quartz vein; 10: stone implements (L: Lupembian; Tsh: Tshitolian age). After Stoops 1967.

Table 1. Some data on two soils on mixed igneous rock from Pleihari (Indonesia) (extracted from Utami 1992).

Characteristic profile	Top	Footslope
Vegetation	conservation park	sugarcane plantation
Classification	Inceptic Hapludox	Inceptic Hapludox
pH H ₂ O in A ₁	4.69	5.02
B _{ox}	4.92	5.43
pH KCl in A ₁	4.21	4.90
B _{ox}	4.49	5.64
Fe ₂ O ₃ DCB in % in B _{ox} , (soil)	9.86	12.63
(clay)	18.57	14.23
Sand in % in B _{ox}	7	8
Silt	38	25
Clay	57	67
CEC in cmol/kg ⁻¹ in B _{ox}	6.60	8.55
Base saturation in % in B _{ox}	4.60	22.11

The heavy fraction of the fine sand is dominated by opaques (>94 %), the rest being ubiquists (zircon, tourmaline and rutile), the light fraction is dominated by quartz (94 - 99 %) with only a few grains of feldspar. The silt fraction of both profiles contain quartz, kaolinite and

sesquioxides (goethite, hematite and gibbsite); the clay fraction contains kaolinite, goethite, hematite, gibbsite and quartz. In the hilltop profile traces of mixed layer minerals of the type mica/vermiculite were found, whereas in the footslope profile traces of mica/smectite mixed layers were noticed.

Although the profile on the top of the hill shows in the field clear signs of rejuvenation by surface erosion, as indicated by the presence of a large amount of saprolite gravel, the micromorphological characteristics reflect in the first place a strongly weathered and bioturbated material, typical for Oxic materials. In thin sections the presence of soft fragments of weathered rock is still more striking than in the field (Fig. 2), as they are much easier to recognise by their fabric than by their colour or consistency. The groundmass is characterised by a weakly to moderately developed granular and subangular blocky microstructure and a reddish brown cloudy micromass, composed of clay and iron oxides, with undifferentiated b-fabric.

The soil on the footslope shows a moderately developed subangular blocky microstructure, even in the Oxic horizon, and the micromass is a reddish brown cloudy clay with a weakly poro- to granostriated b-fabric superposed to a speckled one (Fig. 3). Coatings of fine reddish clay, although present, are restricted to less than 1 % by volume. The other profiles on the slope, not presented in this paper, have intermediate characteristics.

The differences noticed in physical and chemical characteristics are thus reflected in the micromorphology, for instance the denser microstructure in the profile on the footslope, and especially in the more developed b-fabric in the same profile. The characteristics of the strongly preweathered parent material are dominant over those provoked by rejuvenation and lateral transport of elements.

3.2. Soils on coral reefs

Very few information exists on soils formed on coral reefs, and the only micromorphological data found concern New Guinea (Brückner and Schnütgen 1995). For this reason a sequence of two profiles from Ambon (Indonesia) was studied in detail (Devnita, 1993). Their micromorphological characteristics will be compared with those of soils on chalk in a temperate region.

The two soils on uplifted coral reefs of Quaternary age are respectively a Dystric Cambisol (Hitu profile) and a Haplic Luvisol (FAO 1989) (Wailiku profile). The reefs of Quaternary age have been subject to an uplift. The most significant characteristics, of importance for the further discussion, are mentioned in table 2.

X-ray diffraction of the rock samples shows only calcite. The dissolution residue contains mica, quartz and minor amounts of kaolinite, feldspar and vermiculite. The clay fraction of the soils contains mainly kaolinite and hydroxy-Al interlayered vermiculite and, in the Hitu profile, minor amounts of gibbsite, and chlorite. The silt fraction of both profiles is composed mainly of quartz, hydroxy-Al interlayered vermiculite and kaolinite, with in the Hitu profile also important amounts of gibbsite. The heavy mineral fraction consists mainly of opaques (92 - 98 %), with minor amounts of garnet, staurolite, kyanite and zircon as stable minerals, even as augite and diopside, which are more concentrated in the top layers and probably of younger volcanic origin.

Thin section studies show that the reef consists of a porous micritic limestone with many remnants of recrystallised fossils (coralline algae, foraminiferans, molluscs, gastropods, echinoderms, bryozoans). Coatings and infillings of coarse calcite in pores point to later chemical precipitations. Few detrital grains (200 μm) of quartz are recognised. In both profile some thin coatings of weakly oriented clay are observed in the pores (Fig 4).

The microstructure of the Hitu profile ranges from angular blocky in the B/C to complex blocky and granular in the A_{11} . The micromass is reddish, finely speckled and cloudy in the subsoil but dotted in the A_{11} ; its b-fabric is very weakly expressed or undifferentiated. A few small coatings of limpid reddish clay are observed throughout the profile (Fig. 5). Of special interest is the B/C horizon which is very heterogeneous, consisting of yellow en reddish clay zones, and dotted yellowish grey zones. The latter contain

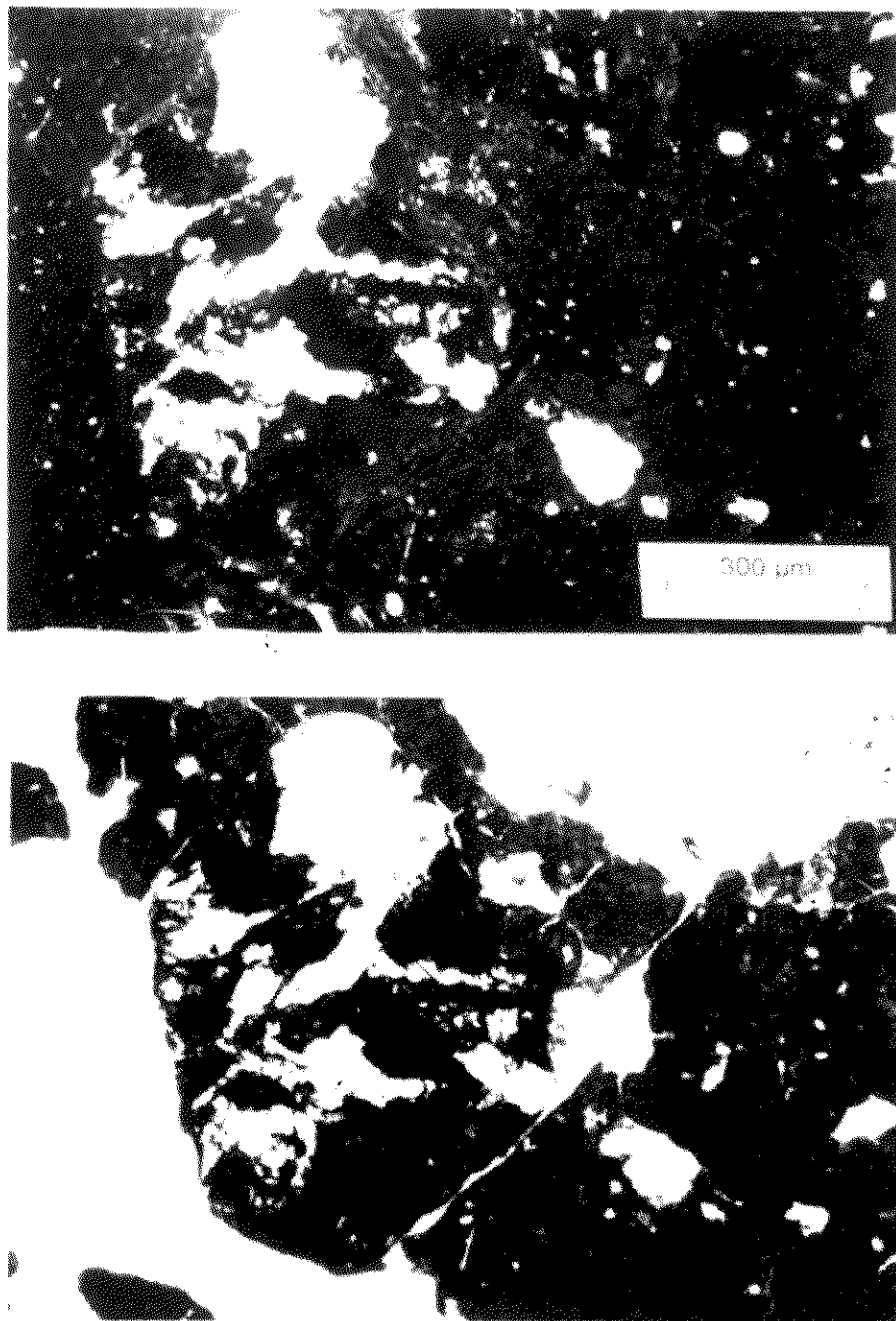


Fig. 2. Micrograph of rock fragment with gibbsite pseudomorphs in A horizon of profile on hilltop in Pleihari. PPL and XPL.

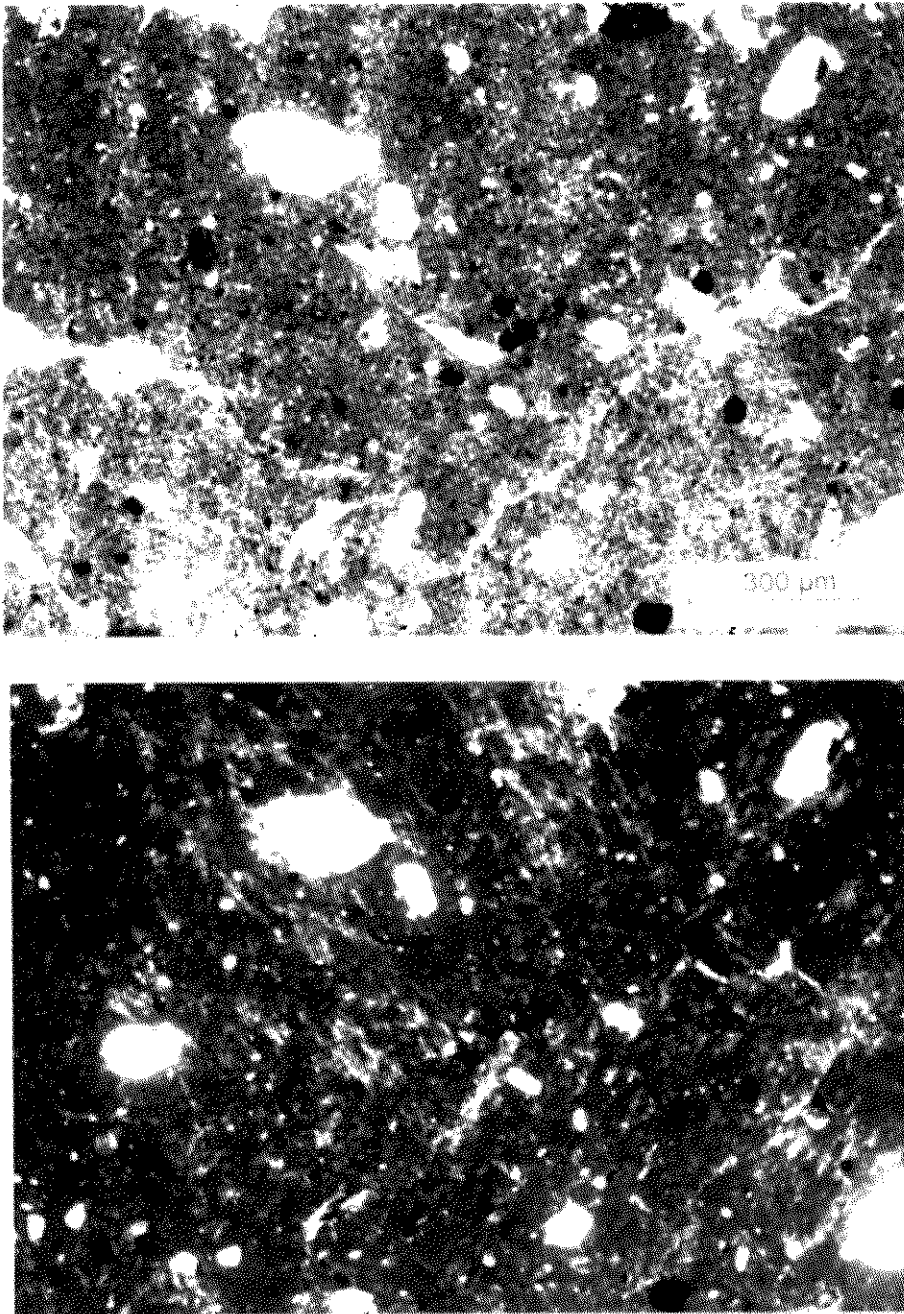


Fig. 3. Micrograph of homogeneous groundmass with speckled and cloudy micromass with weakly developed b-fabric in B horizon of soil on foot slope in Pleihari. PPL and XPL.

Table 2. Some data on two soils on uplifted coral reefs from Ambon (extracted from Devnita 1993)

Characteristic	Hitu	Wailiku
Profile		
altitude a.s.l. in m	115	10
vegetation	clove plantation	mixed garden
slope in %	16	4
pH H ₂ O in A ₁₁	5.7	7.5
in B/C	5.3	5.7
Fe ₂ O ₃ DCB in soil in % (B/C)	25.36	9.38
Fe ₂ O ₃ DCB in clay in % (B/C)	26.21	9.20
Fe ₂ O ₃ _{OX.} in clay in % (B/C)	7.78	4.84
Total sand in % (B/C)	0.40	4.20
% heavy minerals in sand (B/C)	6.62	0.75

many sericite flakes and are relatively rich in quartz; their micromass has a strong stipple speckled b-fabric. These zones can be compared with the inclusions of limestone dissolution products at the basis of clay with flint as described by Stoops and Mathieu (1970). Fe-Mn-hypocoatings point to weak hydromorphic conditions at the contact with the reef.

The microstructure of the Wailiku profile is mainly angular blocky, with intrapedal channels. The micromass consists of a finely speckled egg-yellow clay with well developed b-fabrics, mainly mosaic speckled, with some parallel

striated zones in B/C and very strong crescent striated b-fabric in the B22 (Fig. 6). Clay coatings are relatively rare and thin. In the B/C irregular, diffuse nodules of reddish micromass are observed. The A₁₁ is very heterogeneous, with material ranging from yellow over brown to dark brown; the latter is heavily dotted with organic particles and has an undifferentiated b-fabric.

The Wailiku profile clearly shows the characteristics of a Kalkstein Braunlehm *sensu* Kubišna (1948), whereas the Hitu profile is a typical example of a Rotlehm. The difference can be explained by their age: the slightly tilted

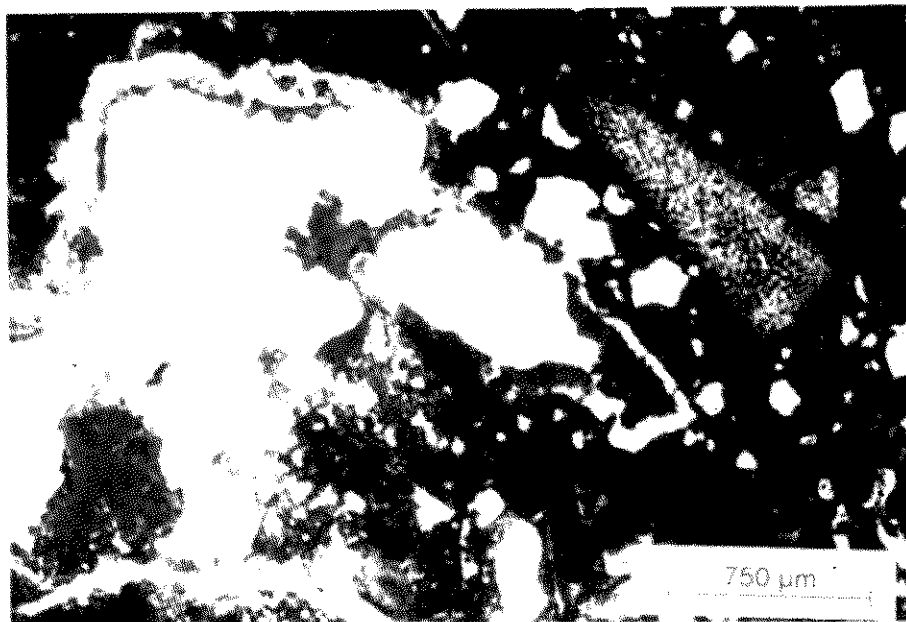


Fig. 4. Micrograph of coral limestone with disrupted coating of clay in macropore. PPL.

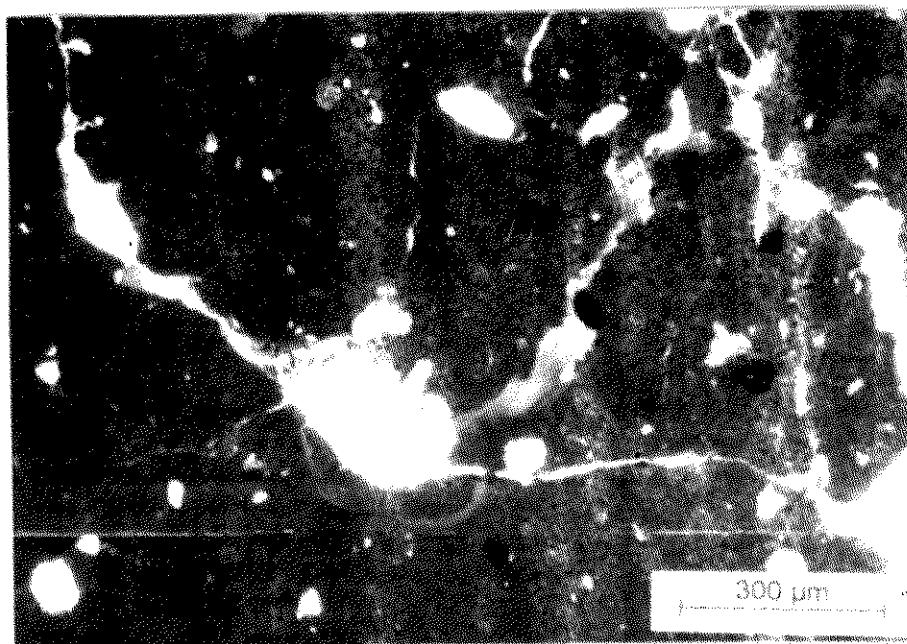


Fig. 5. Micrograph of homogeneous reddish groundmass in B-horizon of Hitu profile with fragment of clay coating. PPL.

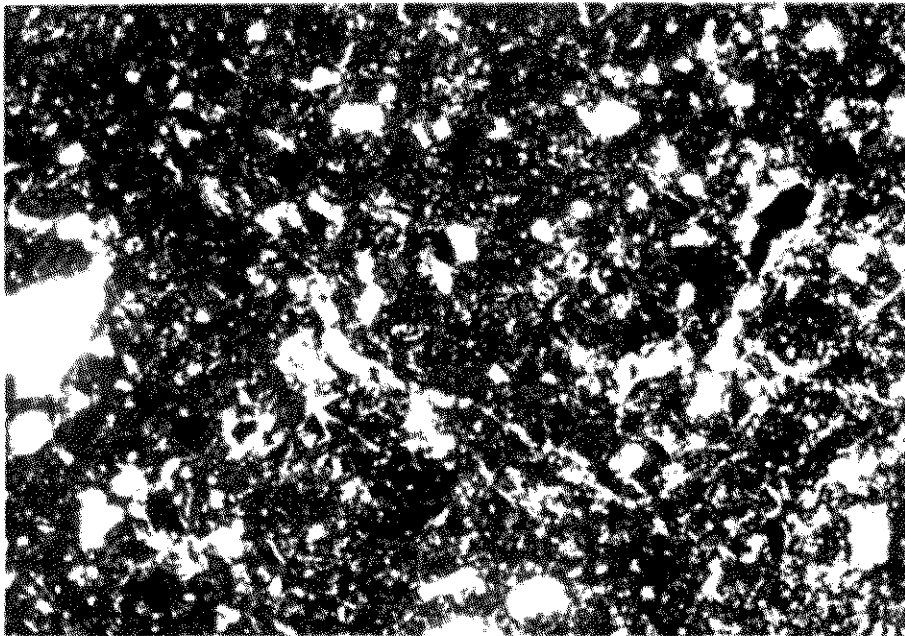
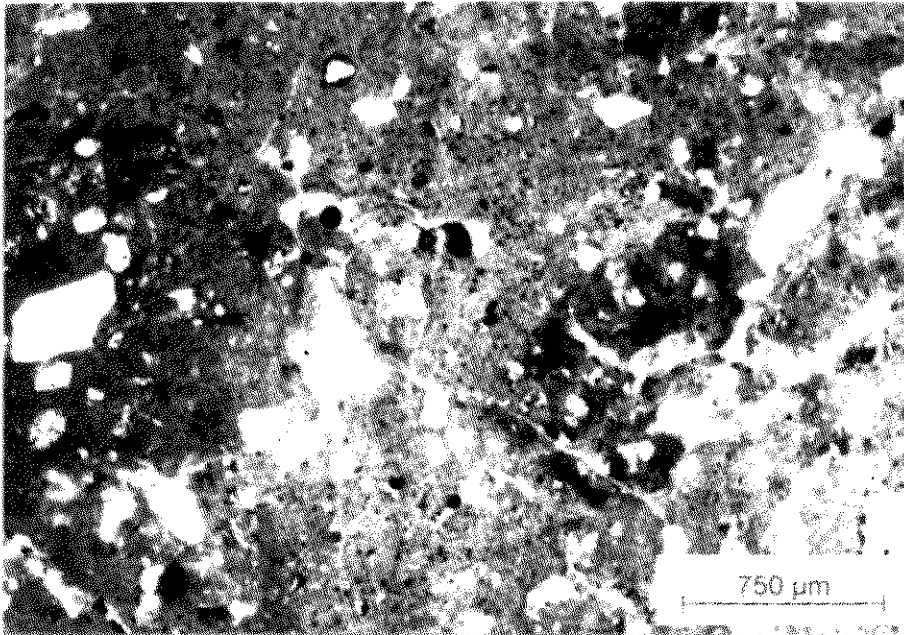


Fig. 7 Micrograph of diffuse reddish nodules in B/C-horizon of Wailiku profile, pointing to a starting rubefaction. Note also the presence of thin coatings of strongly oriented fine clay. PPL and XPL.

to Kubiëna's Rotlehm, whereas the younger is clearly a Braunlehm, indicating that the difference between both soil types can be also explained by a factor of age, and not only climate.

As a conclusion one can state that in the sequence on limestone a differentiation between the profiles was possible because they formed on fresh material, whereas in the toposequence from Kalimantan soil characteristics are so much dominated by the preweathered status of the parent material that differences in other forming factors are practically oppressed..

REFERENCES

- ALEVA, G.J.J. (compiler), 1994. Laterite. Concepts, geology, morphology and chemistry. *ISRIC*, Wageningen, 169p.
- BEAUDOU, A.G. and CHATELIN, Y., 1979. La pédoplasation dans certains sols ferrallitiques rouges de savane en Afrique Centrale. *Cah. ORSTOM, Sér. Pédologie*, 17: 3-8.
- BRÜCKNER, H. and SCHNÜTGEN, A., 1995. Soils on coral reef tracts - The example of Huon Peninsula, New Guinea. *Z. Geomorph., N.F.*, 99: 1-15.
- BUOL, S.W., HOLE, F.D. and MCCracken, R., 1980. *Soil Genesis and Classification*. Iowa State Univ. Press. Iowa, 360p.
- DE CONINCK, F., STOOPS, G. and VAN RANST, E., 1986. Mineralogy and micromorphology of a soil toposequence near Matadi (Lower Zaire) on chloritic green rocks. In: R. Rodriguez-Clemente, and Y. Tardy (Ed.) *Proc. Intern. Meeting "Geochemistry of the Earth Surface and Processes of Mineral Formation"*, CSIC - CNRC, 157-174.
- DE DAPPER, M., 1987. Pedisements and stone-line complexes in Peninsular Malaysia. *Geo-Eco-Trop.*, 11: 37-59.
- DEDECKER, D. and STOOPS, G. 1997. A higher level of classification: a case study for soil profiles comprising bauxite horizons. In: van der Meer, J. and Múcher, H. (ed.), *Developments in Micromorphology*, Universiteit van Amsterdam, (abstracts), 28.
- DE HEINZELIN, J., 1955. Observations sur la genèse des nappes de gravats dans les sols tropicaux. *Publ. INEAC, sér. scient.*, 64, Bruxelles, 37p.
- DEVNITA, R., 1993. *Mineralogical and micromorphological characterization of soils on coral reefs in Ambon, Indonesia*. MSc.-thesis, ITC University of Gent, 48p.
- FLACH, W., J.G. CADY & W.D. NETTLETON, 1968. Pedogenic alteration of highly weathered parent material. *Trans. 9th Intern. Congr. Soil Sci.*, IV: 343-351.
- FÖLSTER, H., 1971. Ferrallitische Böden aus sauren metamorphen Gesteine in den feuchten und wechselfeuchten Tropen Afrikas. *Göttinger Bodenkundliche Berichte*, 20: 231p.
- KUBIËNA, W.L., 1948. *Entwicklungslehre des Bodens*. Springer Verlag, Wien, 215p.
- KUBIËNA, W.L., 1956. *The Soils of Europe*. Thomas Murby and Co, London, 314p.
- MULYANTO, B. and STOOPS, G., 1997. Micromorphological aspect of andesitic rock weathering in humid tropical West Java, Indonesia. *Geoderma* (in revision).
- OLLIER, CL. and PAIN, C., 1996. *Regolith, soils and landforms*. John Wiley and Sons, New York, 316p.,
- ROMASHKEVICH, A.I., 1965. Micromorphological features of processes leading to the formation of red earths and the red weathering crust of the Black Sea Coast of the Caucasus. *Soviet Soil Sci.*, 407-415.
- SOYER, J., 1987. Rôle des termites dans la formation du complexe de la stone-line. *Geo-Eco-Trop.*, 11: 97-108.
- STOOPS, G., 1967. Le profil d'altération au Bas-Congo (Kinshasa). Sa description et sa genèse. *Pédologie*, 17: 60-105.
- STOOPS, G. AND MATHIEU, CL., 1970. Aspects micromorphologiques des argiles à silex de Thiérache. *Science du Sol*, 2: 103-116.

- STOOPS, G., 1987. Contribution of in situ transformations to the formation of stone-layer complexes in Central Africa. *Geo-Eco-Trop.*, 11: 139-149.
- STOOPS, G., 1989. Relict properties in soils of humid tropical regions with special reference to Central Africa. *Catena Suppl.* 16, 95-106.
- STOOPS, G., 1993. Soil thin section description: higher levels of classification of microfabrics as a tool for interpretation. In: Ringrose-Voase and Humphreys (Ed.) *Soil Micromorphology: Studies in Management and Genesis*. Developments in Soil Science 2, Elsevier Scientific Publ., Amsterdam, 317-325.
- TARDY, Y. and NOVIKOFF, A., 1988. Activité de l'eau et déplacement des équilibres gibbsite-kaolinite dans les profils latéritiques. *C.R. Acad. Sci. Paris, Sér. II*, 306:39-44.
- THOMAS, M.F., 1994. *Geomorphology in the tropics: a study of weathering and denudation in low latitudes*. J. Wiley, New York, 460p.
- UTAMI, S. R., 1992. *Mineralogical and micromorphological characterization of a soil sequence in Pleihari, South Kalimantan (Indonesia)*. Msc.-thesis, ITC University of Gent, 94p
- UTAMI, S.R., MULYANTO, B., STOOPS, G., VAN RANST, E. and BAERT, G., (in press). Mineralogical and micromorphological characterization of a soil sequence in Pleihari, South Kalimantan (Indonesia). *Trans. 10th Intern. Working Meeting on Soil Micromorphology, Moscow 1996*.
- VAN BEMMELEN, R.W. 1970. *The geology of Indonesia. Vol. IA. General geology of Indonesia and adjacent archipelagoes*. Martinus Nijhof, Den Haag.

NUEVAS TECNOLOGÍAS EN LA ENSEÑANZA DE LA EDAFOLOGÍA: MULTIMEDIA, INTERNET E INTRANET

CARLOS DORRONSORO.

Departamento de Edafología. Facultad de Ciencias. Granada.
Fax 958 244160. E-mail: pedology@goliat.ugr.es

Palabras clave: Edafología, suelos, educación, distancia, autoaprendizaje, multimedia, hipertexto, Internet, Intranet, World Wide Web, WWW, virtual, interactivo, on-line.

1. INTRODUCCIÓN

El 50 Aniversario de la Sociedad Española de la Ciencia del Suelo puede ser un marco adecuado para hacer una reflexión sobre las técnicas educativas en esta rama de la ciencia, máxime teniendo en cuenta que la celebración de este acontecimiento se desarrolla tan próxima a un cambio de siglo.

Pero más que exponer una revisión histórica de como ha evolucionado la docencia de la Edafología en el presente siglo XX, creemos más interesante resumir cuales son, hoy día, las técnicas educativas más novedosas.

Nos referimos, concretamente, a: Multimedia, Internet e Intranet.

Se trata de unos términos que hasta hace muy pocos años eran desconocidos para la gran mayoría, pero que hoy están ya plenamente introducidos en nuestra sociedad. No obstante, hoy por hoy, su introducción en el mundo educativo es mínima. Estas técnicas están encontrando una cierta reticencia en su introducción generalizada, debida en parte a su propia novedad, y en parte a la tradicional resistencia

de los docentes a introducir cambios bruscos en su sistema educativo.

2. MULTIMEDIA EN EDUCACIÓN

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 video y el ordenador personal. Recientemente, los avances alcanzados en la digitalización de las imágenes con calidad fotográfica, han posibilitado la utilización del ordenador para elaborar imágenes de alta calidad, por lo que hoy día un simple ordenador personal constituye un completo sistema multimedia, con una capacidad educativa tal que era impensable hace tan solo muy pocos años.

El concepto multimedia se refiere a documentos electrónicos interactivos que pueden manejar texto e hipertexto (palabras activas que acceden a otra información), gráficos, imágenes, video y audio. El documento se muestra en la pantalla de un monitor TV y la información va apareciendo como resultado de acciones concretas del usuario.

2.1 Documentos multimedia

La diversidad de las aplicaciones multimedia en educación es amplísima, pero básicamente se pueden agrupar en tres tipos de productos.

i) **Bases de datos.** Almacenamiento de información para su uso posterior (textos, imágenes, videos y audio, solos o combinados).

ii) **Textos electrónicos.** Documentos sencillos (lineales) que normalmente incluyen imágenes.

iii) **Programas.** La información se presenta en una serie de páginas (pantallas TV) interrelacionadas de manera que permiten navegar a través de ellas de forma personal (no necesariamente lineal).

Para la utilización de estos documentos sólo es necesario un ordenador personal multimedia (monitor TV color, tarjeta video/ audio, altavoces y unidad de CD-ROM y/o lector de discos removibles de gran capacidad de almacenamiento).

2.2. Aplicación multimedia

El poder de estas tecnologías es tan grande que resulta evidente que los sistemas educativos no pueden permanecer ajenos a su utilización. Los productos multimedia son de gran utilidad para asistir tanto a la docencia teórica como a la práctica.

i) En el Aula.

Demostraciones puntuales. Cortas secuencias de vídeo 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, el corto tiempo de duración consigue la máxima concentración del alumnado y por otra parte es muy fácil disponer de estos breves documentales.

Programas informáticos. La utilización del ordenador para simulaciones o demostraciones mejora sensiblemente la transmisión de los conocimientos.

Programas de presentación. El uso más simple del ordenador en la clase es su utilización para presentación de guiones, diagramas, textos, dibujos, imágenes... Además del dinamismo que este medio confiere a una exposición, el sistema tiene la gran ventaja de la facilidad de edición y la actualización instantánea de la información a proyectar.

ii) En el Seminario o en el Laboratorio de Prácticas.

Base de datos. Manejo de información contenida en bases de datos multimedia, por ejemplo: perfiles de suelos, imágenes microscópicas de minerales, micromorfología de suelos, etc.

Autoaprendizaje de técnicas. En este campo los tutoriales multimedia puede ser especialmente útiles. Por ejemplo, determinación paso a paso de las técnicas de análisis de suelos, técnicas mineralógicas, micromorfología, clasificación, evaluación de suelos, etc.

Programas multimedia teóricos/prácticos. El disponer de documentos multimedia adecuados es de gran utilidad para la comprensión de esta y de cualquier otra disciplina.

Simulación de experiencias. Los programas de ordenador son especialmente didácticos cuando permiten simular experiencias, generalmente están basados sobre ecuaciones matemáticas en las que los alumnos pueden ir comprobando el desarrollo de los acontecimientos al ir actuando sobre las variables (el tan estimulante, ¿que pasa si ...?). En el caso de la Ciencia del Suelo no son muy abundantes los modelos matemáticos desarrollados, pero sí pueden ser muy ilustrativos en determinados casos como son: caracterización de las propiedades hídricas de los suelos, lavado y acumulación de los carbonatos, velocidad de formación de suelos, erosión de los suelos, evaluación de la calidad de los suelos, etc. Puede ser especialmente útil el simular el comportamiento de las propiedades de los suelos y el conocimiento de los procesos de formación.

Adecuación de trabajos de investigación. Los resultados de nuestras investigaciones pue-

den ser un complemento eficaz de nuestra docencia si los trabajos más importantes los transformamos en documentos multimedia.

Para la utilización de los documentos multimedia se necesita, un ordenador y un proyector de imágenes digitales (ambos pueden ser portátiles) para el aula, y una red local de ordenadores para el laboratorio.

2.3. Producción de documentos multimedia

En lo que podríamos llamar 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.

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 docente que imparte. Hoy día, la función del profesor - programador puede realizarse muy fácilmente gracias a los programas de lenguajes de autor que posibilitan el acceso a complicadas maniobras informáticas sin más que dictar unas simples órdenes (por ejemplo, HyperCrad o Director para ordenadores Macintosh y ToolBook o Visual Basic para entornos PC).

La elaboración de un programa multimedia con fines didácticos se realiza en una serie de etapas. En una primera fase se desarrolla la planificación del documento, se han de fijar los objetivos concretos que se buscan, habrá también que delimitar exactamente los contenidos, elaborar el texto y finalmente planificar las imágenes sobre las que se va a desarrollar el informe científico, buscando la conjunción didáctica del lenguaje verbal (escrito u oral) y el lenguaje gráfico (estático o dinámico). En la segunda fase se preparará el material imagen/sonido necesario. Por último, se materializará el documento en el correspondiente programa informático. Una vez terminado el programa habrá que realizar un seguimiento práctico con los primeros usuarios para corregir errores e introducir posibles mejoras.

La consecución de los objetivos docentes dependerá tanto de la calidad científica de los contenidos como de su desarrollo didáctico y de la facilidad de manejo del programa.

Para obtener buenos resultados educativos se ha de cumplir una serie de premisas.

i) Ha de ir desde lo más sencillo hasta lo más complejo, permitiendo su lectura a diferentes niveles de complejidad.

ii) Han de explicarse hasta los conceptos más simples (lo que resulta obvio para unos alumnos no tiene que ser así para otros muchos). Un programa en una disciplina tan multidisciplinar como la nuestra debe permitir ser utilizado por un alumnado de muy diversa formación (tanto desde el punto de vista de formación básica como el de su especialización científica concreta). Por ello, también se ha de facilitar amplias y constantes ayudas con información complementaria, pero sin que estas lleguen a confundir al usuario del itinerario que esta realizando.

iii) Ha de ser muy manejable. El documento no es lineal sino que será consultado con ramificaciones muy diversas, con una navegación muy personalizada. Los contenidos se han de representar de manera que quede claramente expresada la secuencia más lógica de exploración del documento.

iv) Un autentico documento multimedia no debe ser un mero atlas de imágenes. Las imágenes constituirán una parte especialmente importante pero el texto deber ser un elemento básico para la asimilación de los conceptos. 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 misión es la de facilitar la asimilación del mensaje y fijar la atención del usuario.

v) Fácil funcionamiento. Su interfaz de relación con el usuario ha de ser transparente y el programa ha de estar presentado con una estructura sencilla, intuitiva y mantenerse constante durante todo su desarrollo.

vi) Debe ser totalmente interactivo. La información ha de ser el resultado de acciones específicas del usuario.

vii) La interrelación entre el alumno y la máquina adquiere su grado máximo cuando se plantean una serie de interrogantes y el usuario recibe una compensación a cada respuesta correcta (ya sea bajo las modalidades de test, evaluación con calificaciones o series de pantallas eliminatorias con dificultad creciente). Esto permite al alumno comprobar el grado de asimilación de los conocimientos.

2.5 Programas multimedia en Edafología

En el Departamento de Edafología de la Universidad de Granada (en colaboración con las Universidades de Salamanca, Extremadura y Gantes), hemos realizando un conjunto de programas multimedia de autoaprendizaje interactivo. Los programas corren en ordenadores Apple Macintosh y actualmente se están reelaborando para los ordenadores PC bajo Windows. Estos programas cubren diversos aspectos de la enseñanza de la edafología.

i) Programas sobre morfología y clasificación de suelos. MORPHOCLASOL, consta de tres subprogramas: HORSOL, sobre morfología y tipología de horizontes. CLASSOL, de clasificación de suelos con información de campo y laboratorio. PROFISOL, para el reconocimiento de tipos de suelos a partir de fotografías del perfil. Los programas son autoevaluadores (al empezar se otorga la máxima calificación y se penaliza las respuestas erróneas).

ii) Curso de óptica mineral. OPTMINE. Mediante la simulación de las técnicas microscópicas se explica el por qué de las propiedades ópticas de los minerales y como se utilizan para la caracterización mineral. Consta de tres subprogramas:

INTROMINE. Se aclaran conceptos generales sobre los minerales, el microscopio polarizante, la luz y las técnicas de preparación de las muestras.

PPLMINE. Se estudian las propiedades

que presentan los minerales trabajando en el microscopio con sólo el polarizador incorporado: relieve (y línea de Becke), color, pleocroísmo, hábito y exfoliación.

XPLMINE. Se analizan las propiedades que se observan bajo nicoles cruzados. Sin condensador: color de interferencia, elongación, ángulo de extinción y maclas. Con el condensador incorporado: figura de interferencia y signo óptico.

iii) Curso sobre micromorfología de suelos. MICROPEDOLOGY, ayuda a aprender la técnica de la descripción micromorfológica según la terminología desarrollada en el Handbook del ISSS (Bullock et al. 1985). Se consideran las siguientes partes: toma de muestras, obtención de las láminas delgadas, conceptos generales relativos al análisis de los agrupamientos, distribuciones y orientaciones de los componentes, microestructura, constituyentes básicos y masa basal; el programa termina considerando los rasgos edáficos.

iv) Curso sobre génesis de suelos. Se han desarrollado un conjunto de programas interactivos para la comprensión de los procesos de formación de suelos.

ILLUVSOL. Se dedica este programa al proceso de iluviación de arcilla. El programa está dividido en: conceptos, propiedades, macromorfología, micromorfología, origen, fases, perturbación y técnicas de reconocimiento.

CO3SOL. Este programa muestra las características que aparecen en los suelos como resultado de la actuación del proceso de carbonatación/decarbonatación. Comprende: conceptos, macromorfología, micromorfología, procesos, evolución y origen.

GYPSOL. Trata de la acumulación del yeso en los suelos y la formación de horizontes gypsicos. Se han desarrollado los siguientes capítulos: conceptos, características, macromorfología, micromorfología, rasgos asociados, ocurrencia, formación y destrucción.

HYDROSOL. Se describen los rasgos que deja el proceso hidromórfico en los suelos. Se han establecido seis apartados: conceptos, con-

navegar por la red para buscar un determinado archivo. Para no tener que ir explorando menú tras menú existe el programa Veronica que realiza la búsqueda de manera automática.

v) **WAIS.** Este programa permite entrar dentro de los archivos para encontrar la información por palabras clave dentro de los documentos de la red.

vi) **World Wide Web (WWW o Web).** Constituye, sin duda, la herramienta más innovadora y más potente de Internet. De hecho ha sido a partir de su desarrollo cuando Internet se ha vuelto un sistema universal y multitudinario. La implementación de nuevos lenguajes como Java (lenguaje orientado a objetos, que entre otras cosas permite desarrollo de aplicaciones compatibles, independientes del tipo de máquina que se use, ya que se basan más en los datos que en los procedimientos), le han conferido al sistema nuevas prestaciones, como la interactividad y el movimiento. La WWW permite la publicación, búsqueda e intercambio de todo tipo de información (texto, hipertexto, gráficos, imágenes, video y audio), de manera muy simple, entre cualquier tipo de ordenadores (con cualquier sistema operativo). Si a la multimedia le añadimos la comunicación a distancia tenemos la Web.

WWW tiene conexiones con todos los otros servicios de Internet (FTP, Telnet, Gopher, etc). Para su utilización se requiere de solo un programa navegador (tipo Netscape Navigator o Microsoft Explorer).

Esta "Telaraña de Cobertura Mundial" está basada en un modelo cliente (usuario)/servidor (distribuidor). Los internautas navegan a través de cientos de miles de máquinas Web interconectadas en una red mundial, en donde se encuentra depositada la información. El entendimiento entre máquinas muy dispares se hace gracias a un protocolo único llamado HTTP (HyperText Transmission Protocol), con un direccionamiento URL (Uniform Resource Locator) y un lenguaje hipertexto y con capacidad de video y audio llamado HTML (HyperText Markup Language).

La facilidad de intercambiar información

de la WWW se considera la responsable de que el tráfico de la red haya pasado de miles de usuarios a millones en tan sólo unos años.

La máxima interacción entre clientes y servidores WWW se consigue con CGI (Common Gateway Interface) que posibilita generar documentos HTML de forma dinámica. El cliente llama al servidor, solicitándole la ejecución de un programa. El servidor ejecuta del programa CGI con los parámetros especificados (opcionalmente) por el cliente, genera el documento/resultado y este es enviado al ordenador cliente. Cumplimentar un formulario de una página Web, con una serie de casillas en blanco, es la forma más común de utilización de los CGI.

vii) **Conversación con teclado.** Programas que permiten establecer comunicaciones instantáneas con otra persona a través del lenguaje escrito.

viii) **Telefonía.** Comunicación oral en tiempo real con otras personas. Obviamente, este servicio requiere de micrófono y altavoces. La facturación telefónica es única, independientemente del destino, y se tarifa a precio de llamada local.

ix) **Videoconferencia.** Emisión y recepción instantánea de imagen y voz. Además del equipo audio se necesita de una cámara de video digital. Actualmente la velocidad de transmisión de imágenes en la Red es un factor limitante de la calidad resultante.

3.3. *Buscadores*

Un grave problema que presenta la utilización de la información en Internet nace de la propia filosofía de la Red: libre almacenamiento, o sea anarquía. Así ha evolucionado hacia un inmenso almacén caótico en el que se puede encontrar de todo. La Red Global constituye un medio fabuloso de información pero presenta el gravísimo inconveniente de su total desorganización, no existe en ningún punto de la red un índice general.

Para paliar este problema existen numero-

Los buscadores que exploran las páginas de la Web y producen su indexación automática. El usuario se limita a realizar una consulta a un determinado dispositivo de búsqueda y obtiene una respuesta prácticamente instantánea.

Existen dos tipos de buscadores. Unos motores de búsqueda procesan manualmente la indexación recogida para establecer un sistema de categorías agrupadas por temas y jerarquizadas en subgrupos cada vez más especializados. Este es el sistema que sigue Yahoo. Tiene el inconveniente de la lentitud del proceso de elaboración de datos y que las clases establecidas no son mutuamente excluyentes, por lo que la elección del camino de búsqueda resulta a veces laborioso.

Otros, como es el caso de AltaVista, recurren a la indexación totalmente automática de las palabras contenidas en las páginas Web. Registran no sólo las palabras de los documentos sino que también almacenan la posición de la palabra en el texto, lo que permite la posterior búsqueda por combinación de palabras. Este sistema presenta una altísima capacidad de catalogación y tiene como principal ventaja la extraordinaria velocidad de la recogida de datos y su bajo coste. Pero la indexación por las palabras del texto en vez de por conceptos (como serían los rasgos esenciales del documento: temática, objetivos, tipo de información, calidad, importancia científica ...) conlleva a la "democratización" de los resultados (de cada servidor Web visitado se recogen todos sus documentos, sin tener en cuenta su importancia informativa) y proporciona resultados abrumadores y muy difíciles de manejar.

Es tal la cantidad de información que diariamente se incorpora en Internet que los buscadores actuales no son capaces de indexarla y cada vez se van quedando más desfasados. Actualmente se trabajan en nuevos motores de búsqueda de exploración ultrarrápida.

Algunos de los buscadores más utilizados son:

ALTAVISTA (<http://altavista.telia.com/cgi-bin/telia?country=es&lang=es>)

EXCITE (<http://www.excite.com>)

INFOSEEK (<http://www.infoseek.com>)

LYCOS (<http://www.-es.lycos.com>)

YAHOO (<http://www.yahoo.com>)

Existen otros localizadores que lanzan la búsqueda simultáneamente a varios buscadores. Por ejemplo WEBCRAWLER (<http://www.webcrawler.com>) consulta a esos cinco localizadores que hemos expuesto en el listado anterior, junto a algunos más. Un listado muy completo de buscadores puede encontrarse en el servidor JABATO de la Universidad de Zaragoza (http://jabato.unizar.es/reti_2.htm).

3.4. Aplicación en la enseñanza

La facilidad de publicación que ofrece Internet (que es tanto una valiosa ventaja como un grave inconveniente) origina que podamos encontrar una información irrelevante (por no decir errónea) al mismo nivel que un documento muy valioso. Se dice de la Red que en ella puede estar todo y puede perderse todo el tiempo en encontrar nada.

A modo de ejemplo, a 24 de Julio de 1997 efectuamos una búsqueda en AltaVista con la palabra clave "soils" y obtuvimos más de 200.000 citas. Lo que representa que a una media de dos minutos por ítem, para su localización e identificación, se necesitaría del orden de 3,5 años para la selección de esta bibliografía. Las búsquedas deben de especializar al máximo por la combinación de palabras, por ejemplo, la búsqueda con "soil erosion" dio una respuesta de "sólo" unas 10.000 citas. Las palabras clave pueden estar relacionadas con operadores lógicos de carácter vinculante y/o excluyente (and, or, not, near), así soil near science produce un listado de más de 30.000 ítems. La palabra edafología obtiene una lista de unas 300 referencias.

De cualquier forma, Internet representa indiscutiblemente un medio fabuloso para la docencia, en su triple vertiente: informar/informarnos, comunicar/comunicarnos y formar/formarnos (Chordi, A; comunicación personal).

Base) (<http://www.ncg.nrcs.usda.gov/statsgo.html>). Imágenes digitalizadas de mapas de suelos a escala 1:250.000 para trabajar con ArcInfo, con datos de unas 25 propiedades de los suelos, conectado al Soil Interpretations Record (SIR).

-SSURGO (Soil Survey Geographic Data Base) (<http://www.ncg.nrcs.usda.gov/ssurgo.html>). Métodos cartográficos usando los estándares nacionales para obtener mapas detallados de suelos (escalas de 1:12.000 a 1:63.360).

SOIL INFORMATION SYSTEMS (<http://dynamo.ecn.purdue.edu/~biehl/SoilInfo>). Departamento de Agronomía de la Universidad de Purdue (USA). Este servidor ofrece amplia información sobre varias bases de datos digitales (SIG) de suelos.

-SOTER Soil and Terrain Global and National Digital Database (http://dynamo.ecn.purdue.edu/~biehl/SoilInfo/Soter_Project.html).

-GRASS Database Development for Hungary (<http://mollisol.agry.purdue.edu/~helt/agen526.html>). Aplicación de Soter y SIG (Sistemas de Información Geográfica) a los suelos de Hungría.

-VEGETATION AND SOILS FIELD RESEARCH DATA SUMMARY FIELD RESEARCH DATA BASE (<http://dynamo.ecn.purdue.edu/~frdata/FRData>). Aplicación de los sensores remotos a la cartografía de la vegetación y de los suelos.

-TOWARDSOILSPATIALINFORMATION SYSTEMS FOR GLOBAL MODELING AND ECOSYSTEM MANAGEMENT (http://dynamo.ecn.purdue.edu/~biehl/SoilInfo/SSIS_Project). Técnicas de diseño, desarrollo, estructura y manejo de la base de datos SOTER.

AGDB: Agriculture-Related Information Systems, Databases, and Datasets (<http://www.agnic.nal.usda.gov/agdb/erdcalf.html>). Agriculture Network Information Center, USDA. Recopilación muy extensa de bases de datos relacionadas con la agricultura.

-SIR Soil Interpretation Record Database (<http://www.agnic.org/agdb/sir.html>).

-SSURGO Soil Survey Geographic

Database (<http://www.agnic.org/agdb/ssurgo.html>).

-SOIL TEST ANALYSES (<http://www.agnic.org/agdb/soiltest.html>).

-SOILS-5: United States (<http://www.agnic.org/agdb/soils5.html>).

-ARIDIC SOILS OF THE UNITED STATES AND ISRAEL (<http://www.agnic.org/agdb/asusi.html>).

-DIGITIZED SOIL MAP OF THE WORLD (<http://www.agnic.org/agdb/dsoilmap.html>).

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (<http://www.unep.no>). Reune una importante información sobre los suelos del mundo. Destacamos:

-GLOBTEX (Global Soil Texture Data) (<http://grid2.cr.usgs.gov/data/fts.html>).

-SOIL MAP OF BRASIL (<http://grid2.cr.usgs.gov/data/brsoil11d.html>).

-DESERTIFICATION (<http://grid2.cr.usgs.gov/des/deshome.html>).

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USA) (<http://www.epa.gov/epahome/index.html>). Ha recopilado en su Web un conjunto de bases de datos para ayudar a la utilización y comprensión del medio ambiente.

CONSORTIUM FOR INTERNATIONAL EARTH SCIENCE INFORMATION NETWORK (<http://www.ciesin.org>). Proyecto de la Universidad de Minesota subvencionado por la NASA. Constituye una iniciativa a nivel internacional para facilitar todo tipo de datos que ayuden a comprender las relaciones del hombre con el medio ambiente. Ofrece unas documentadas guías temáticas, de las que destacamos:

-LAND USE (<http://www.ciesin.org/CIESIN/LU/LU-home.html>).

-LAND DEGRADATION AND DESERTIFICATION (<http://www.ciesin.org/CIESIN/degrad.html>).

ISRIC (<http://www.isric.nl>). Este Web del Centro Internacional de Referencia e Información en Suelos de Wageningen, Holanda (International Soil Reference and Information

Centre) tiene recopilada una serie de bases de datos:

- SOTER (World Soils and Terrain Digital).
- GLASOD (Global Assessment of the Status of Human-induced Soil Degradation).
- WISE (World Inventory of Soil Emission).
- SOVEUR (Vulnerability of European Soils to Pollution).
- NASREC (National Soil Reference Collection and Database programme).
- ISRIC Soil Information System.

CANADIAN SOIL INFORMATION SYSTEM (<http://res.agr.ca/PUB/CANSIS/index.html.html>). Bases de datos, en versión electrónica para ARC/INFO, sobre los suelos y paisajes de Canada, a escalas 1:5 millones y 1:1 millón, accesible a través de FTP (<ftp://res.agr.ca/CANSIS>). Páginas dedicadas al la evaluación de suelos (<http://res.agr.ca/ecor/lande.htm>).

ZOBLER PROGRAMME (World Soils for Global Climate Modelling) (http://edcwww.cr.usgs.gov/glis/hyper/guide/world_soil). Analiza la distribución mundial de los suelos según el Mapa Mundial de los Suelos de FAO (1974) y el de vegetación de Matthews (1984).

CORINE PROGRAMME (Coordination of Information on the Environment) (<http://www.lead.org/curr/cori.html>). Versión digitalizada para ArcInfo del Soil Map of the European Communities ver la página (<http://www.grid.unep.de/ecsoldoc.html>).

SOIL INFORMATION FOR ENVIRONMENTAL MODELING (http://dbwww.essc.psu.edu/soil_info). Soil-Related Research, College of Earth and Mineral Sciences, Pennsylvania University (USA).

GAIA (<http://www.ess.co.at/GAIA>). Proyecto multimedia sobre educación ambiental y manejo de recursos naturales. Fruto de la colaboración de 10 países. Se ofrecen los resultados de ocho proyectos medioambientales muy completos.

NASA EARTH OBSERVING DATA AND INFORMATION SYSTEM (<http://eos.nasa.gov>).

Información sobre el medioambiente en general.

Revistas. Algunas revistas científicas están ofreciendo, junto al soporte tradicional de papel, versiones en CD ROM de sus ediciones que pueden ser distribuidas por las bibliotecas universitarias a través de sus redes locales a todos los miembros de cada comunidad universitaria.

Existen también revistas que se editan exclusivamente en Internet. En el área de suelos destacamos a SCIENCES OF SOILS (<http://www.hintze-online.com/sos>), con dos números publicados, correspondientes a los años 1996 y 1997. Es una revista internacional ubicada en Alemania.

Por otra parte, la mayoría de las revistas científicas disponen de páginas Web para ofrecer índices con las referencias (y a veces también los resúmenes) de los artículos de sus últimos números publicados y frecuentemente también con los que se encuentran en prensa.

GEODERMA (<http://www.elsevier.nl/inca/publications/store/5/0/3/3/2>).

SOIL SCIENCE

(http://www.wilkins.com/wavcat-bin/journals_ops/ID0515682/0038-075X/prod).

SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICAN JOURNAL (<http://www.soils.org/journals/ss.html>).

CATENA (<http://www.elsevier.nl/inca/publications/store/5/2/4/6/0/9>).

EUROPEAN JOURNAL OF SOIL SCIENCE (<http://194.128.227.252/products/journals/ejss.htm>).

CANADIAN JOURNAL OF SOIL SCIENCE (<http://www.nrc.ca/aic-journals/cjss.html>). Edición electrónica a texto completo.

AUSTRALIAN JOURNAL OF SOIL RESEARCH. (<http://www.publish.csiro.au/journals/ajsr/index.html>). Edición a texto completo.

BIOLOGY AND FERTILITY OF SOILS (<http://link.springer.de/link/service/journals/00374/index.htm>).

NATIONAL SOIL SURVEY HANDBOOK (<http://www.statlab.iastate.edu/soils/nssh>).

LAND EVALUATION LECTURES NOTES (http://wwwscas.cit.cornell.edu/landeaval_notes/lecnot.htm). Universidad de Cornell, USA.

RECOMMENDED SOIL TESTING PROCEDURES FOR THE NORTHEASTERN UNITED STATES (http://bluehen.ags.udel.edu/deces/prod_agric/title-95.htm). Agricultural Experiment Stations of Connecticut, USA.

THE HEALTH OF OUR SOILS (<http://res.agr.ca/CANSIS/PUBLICATIONS/HEALTH>). Centre for Land and Biological Resources Research. Agr. Agri-Food, Canada.

SOIL RESOURCE MANAGEMENT (<http://ianrwww.unl.edu/ianr/pubs/catalog/soil.htm>). Universidad de Nebraska, USA.

SOIL CONSERVATION SURVEYS GUIDEBOOK (<http://www.for.gov.bc.ca/tasb/legsregs/fpc/pcguide/soil/soil-toc.htm>). Forest Service Universidad de British Columbia, Canada.

Departamentos universitarios. Los departamentos universitarios están publicando sus propias páginas Web con descripciones completas de sus actividades científicas y docentes: componentes, líneas de investigación, proyectos realizados y en fase de realización, cursos y programas impartidos, informes, monografías, etc.

Listados con las direcciones de las universidades y los centros de investigación más importantes de todo el mundo pueden encontrarse en cualquiera de los buscadores, por ejemplo en YAHOO (<http://www.yahoo.com>). A nivel nacional podemos navegar en OZÚ (<http://www.ozu.es>), en ¡OLÉ! (<http://www.ole.es>), en REDIRIS (<http://www.rediris.es>) y en el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (<http://www.csic.es>). Es interesante consultar el proyecto de colaboración entre Apple España y la Universidad de Zaragoza, RECURSOS ACADÉMICOS SOBRE MACINTOSH (<http://smuz.cps.unizar.es/ram/ram02.html>) en el que

se está haciendo un banco de datos sobre la utilización de las tecnologías multimedia en las universidades españolas.

Sociedades científicas, instituciones y organismos. Internet se ha convertido en el medio ideal para que estos organismos transmitan todo tipo de información a sus socios y simpatizantes, sin limitaciones de espacio ni económicas.

En nuestra especialidad destacamos las Web: SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICAN (<http://www.soils.org/sssaa.html>).

ISRIC (<http://www.isric.nl>). Centro Internacional de Referencia e Información en Suelos (International Soil Reference and Information Centre), Wageningen, Holanda.

SOIL AND WATER CONSERVATION SOCIETY (<http://www.swcs.org>).

AMERICAN SOCIETY OF AGRONOMY (<http://www.agronomy.org/asa.html>).

COMMITTEE FOR THE NATIONAL INSTITUTE FOR THE ENVIRONMENT (<http://www.cnie.org/nle>).

US ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (<http://www.epa.gov>).

THE UNITED NATIONS DIVISION FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT (<http://www.un.org/dpcsd/dsd>).

WIND EROSION AND WATER CONSERVATION (<http://www.csrl.ars.usda.gov/wewc/wewc.htm>).

INTERNATIONAL EROSION CONTROL ASSOCIATION (<http://www.ieca.org>).

NATIONAL SOIL EROSION RESEARCH LABORATORY (<http://soils.ecn.purdue.edu:20002>) (USDA-NSERL). Es un servidor con interesantes páginas: Site Map, Search USDA Web Pages, National Survey Soil Center, National Soil Survey Handbook, Proposed Revisions to Soil Taxonomy, NSSH-Subject Index.

SOIL ECOLOGY INSTITUTE (http://www.gsf.de/gsf/institute/englisch/inst_soil_eco.html).

SOCIEDAD ESPAÑOLA DE LA CIEN-

CIA DEL SUELO. Nuestra sociedad esta construyendo una página cuya URL provisional es (<http://www.wedu-micro.usal.es/Dorronsoro/SECS/SECS.html>).

LA AGENCIA EUROPEA AMBIENTAL (<http://aisws6.jrc.it:2001/docs/soil/soil.html>) de la Comunidad Europea ha creado recientemente el EUROPEAN TOPIC CENTRE ON SOIL (ETC/S <http://homepage.tinet.ie/~jcastle/etc/index.htm>) y el European Soil Bureau (ESB) para todo lo referente a los suelos. Se encuentra ubicado en el Joint Research Centre (JRC), Ispra, Italy, y pertenece al Agriculture Information Systems Unit (AIS) of the Space Applications Institute (SAI).

INQUA (<http://inqua.nlh.no>). International Union for Quaternary Research.

UNEP/GRID (United Nations Environment Programme / Global Resource Information Database) (<http://www.grid.unep.ch>). En este Web se encuentran numerosos programas sobre información del medioambiente en general y sobre los suelos en particular.

FAO (<http://www.fao.org>).

Enciclopedias y diccionarios. Existen algunos servidores Web que ofrecen ediciones electrónicas de diccionarios y enciclopedias. Normalmente, su consulta se realiza a través de las bibliotecas universitarias.

ii) Comunicación

Correo electrónico. Este servicio representa un medio ideal para la comunicación personal y directa entre los miembros de la comunidad universitaria (tanto docente como docente).

Grupos de Noticias. Los Newsgroups son tableros electrónicos en donde se pueden leer y agregar noticias. Existen unos 15.000 grupos de noticias distribuidos por la red, pero sólo algunos son específicos de suelos.

CYBER SOILS (<http://www.hintze-online.com/sos/DGroups/cyber-group.html>).

GIT.ENVE.ERS.S1 (<http://tile.net/news/news/giteneverss1.html>). Environmental Research Soil.

Listas de distribución (LISTSERV). Se trata de foros electrónicos de discusión por medio del correo electrónico, especializados en muy diversos temas. La RED IRIS (<http://www.rediris.es>) mantiene una plataforma para discusión de temas científicos en castellano con más de 240 listas registradas y facilita la creación de nuevas listas para la discusión de temas científicos. La RedIRIS es una red específicamente desarrollada para permitir la comunicación científica (académica y de investigación). Está mantenida por el Consejo Superior de Investigaciones Científicas y ofrece los servicios de correo electrónico, listas de noticias, grupos de noticias, servidor FTP, servidor Web y servicio de dominios y direcciones (con más de 65.000 máquinas listadas).

A GENERAL SOILS DISCUSSION LIST (<http://www.weru.ksu.edu/lists.html>).

SOIL PHYSICS DISCUSSION LIST (http://www.waite.adelaide.edu.au/Soil_Science/slmail.html).

SOIL CHEMISTRY DISCUSSION LIST (<http://www.soils.agri.umn.edu/infoserv/lists/soil-chem/archives>).

SOIL-Q@TC.UMN.EDU Soil Quality Discussion Group.

SOILS-L@CRVMS.UMN.EDU. Soils-L Discussion List.

SOILTALK@LISTSERV:TAMU.EDU. SoilTalk Discussion List .Current Issues and Discoveries in Soil Science in Texas.

THE WIND EROSION DISCUSSION LIST (<http://www.weru.ksu.edu/lists.html>).

A SOIL EROSION DISCUSSION LIST (<http://www.weru.ksu.edu/lists.html>).

SOIL SALINITY DISCUSSION LIST (<http://fserv.wiz.uni-kassel.de/kww/projekte/irrig/dif/salinity-l.html>).

CLAY MINERALS DISCUSSION LIST (<http://ctjrs.agry.purdue.edu:80/claymin/listserver.html>).

A SUSTAINABLE AGRICULTURE DISCUSSION LIST (<http://www.weru.ksu.edu/lists.html>).

QUATERNARY GEOLOGY MAILING

LIST (<http://www.neosoft.com/internet/paml/groups.Q/quaternary.html>).

BIOGROUP—BIOREMEDIATION DISCUSSION GROUP (<http://biogroup.gzea.com>).

SOIL-PLANT-MICROBE (<http://www.mailbase.ac.uk/lists-p-t/soil-plant-microbe>).

SENSOR DISCUSSION (<http://www.icfrnet.unp.ac.za/~metele/SoWaCS.html>).

AG MAILING LIST (<http://www.agpr.com/consulting/maillinglist.html>).

Congresos. En Internet encontramos las convocatorias y circulares de prácticamente de todos los congresos y reuniones a celebrar. En numerosas ocasiones se encuentran las publicaciones resultantes de los congresos celebrados. En algunas ocasiones se editan los textos completos de las comunicaciones antes de celebrarse la reunión, lo que facilita enormemente los foros de discusión durante la celebración del congreso. En otras ocasiones la discusión se realiza en la misma Red, con lo que llegamos a una nueva modalidad de congresos: el Congreso Virtual.

16º CONGRESO INTERNACIONAL DE LA CIENCIA DEL SUELO (<http://www.cirad.fr/iss.html>). ISSS. A celebrar en Montpellier en 1998.

SYMPOSIUM ON SOIL EROSION AND DRYLAND FARMING HOME PAGE (<http://soils.ecn.purdue.edu/~sedf97/sedf97.html>).

PRIMER CONGRESO VIRTUAL SOBRE FARMACIA (<http://www.ugr.es/~genfarma/bien.htm>). Enero a diciembre de 1998. Organizado por la Universidad de Granada.

INFORMATIQUE POUR L'ENVIRONNEMENT (<http://www.inria.fr/Colloques/ENVIRONNEMENT-fra.html>). INRIA, Institut National de Recherches en Informatique et en Automatique (Strasburgo, Francia). 10/12 septiembre de 1997.

Videoconferencias. Esta posibilidad está

empezando a desarrollarse actualmente para sesiones de trabajo con limitados participantes (comités científicos, coordinaciones de proyectos, etc), aunque las condiciones actuales de la red no son todavía las adecuadas.

Universidades, sociedades, organizaciones, instituciones. Estos organismos están aprovechando las facilidades que soporta Internet para todo tipo de comunicación investigadora, docente y administrativa, tanto entre sus propios miembros como con los usuarios de otras entidades

iii) Formación

El empleo de materiales educativos on-line está teniendo gran auge en USA y representa un objetivo básico para la Comunidad Europea. En Internet se pueden desarrollar cursos y programas para impartir docencia a los alumnos y para ampliar los conocimientos de generaciones que ya no frecuentan las aulas (formación, especialización y puestas al día). Su principal ventaja es la facilidad de acceso (24 horas al día y 365 días al año). En la Red encontramos dos tipos de servidores, con filosofías distintas, especializados en estas técnicas.

Existen unos servidores Web orientados a facilitar la aplicación de las técnicas de educación a distancia a través de la WWW en cualquier disciplina. Los objetivos de estos servidores son:

i) Proporcionar las técnicas docentes adecuadas: planificación, programación, tutorías, consultas on-line, evaluaciones, ...

ii) Asesorar y proporcionar formación informática para el profesorado.

iii) Dar soporte para cursos on-line: acceso a servidor Web, software y todo tipo de recursos.

iv) Hacer catálogos interactivos de las páginas Web dedicadas a la educación a distancia usando Internet.

v) Aplicar y difundir los logros conseguidos con la aplicación docente de las nuevas tecnologías.

vi) Facilitar la comunicación entre los docentes interesados en esta técnicas y desarrollar foros de discusión a través de Internet.

vii) Organizar reuniones y congresos sobre esta problemática, con asistencia presencial o virtual.

Sobre la importancia que la educación a distancia está adquiriendo en Internet nos hablan los Workshops que sobre TEACHING AND LEARNING se han desarrollado en las seis conferencias internacionales que sobre WWW se han celebrado entre los años 1994 a 1997 (IWWWC).

Algunos de estos servidores Web especializados son:

GLOBEWIDE NETWORK ACADEMY DISTANCE LEARNING (<http://www.gnacademy.org>). Presenta un amplio listado de cursos impartidos en diversas universidades: 15 programas y 274 cursos en agricultura y ciencia del suelo; 31 programas y 1.441 cursos en disciplinas científicas; 135 programas y 489 Cursos sobre educación.

UNIVERSITY CONTINUING EDUCATION ASSOCIATION (<http://www.nucea.edu>). Washington, USA. En este sitio se ofrece completa información sobre los cursos de educación a distancia impartidos por el amplísimo grupo de universidades afiliadas a este consorcio.

INTERNATIONAL CENTRE FOR DISTANCE LEARNING (<http://www.icdl.open.ac.uk/icdl>). Reino Unido.

INSTITUTE FOR COMPUTER BASED LEARNING (<http://ithaca.icbl.hw.ac.uk:8000>). Universidad Heriot-Watt de Edimburgo (Reino Unido).

AUSTRALIAN WEB96 (<http://www.scu.edu.au/ausweb96>). Contiene texto completo de numerosas comunicaciones presentadas sobre educación y enseñanza a distancia.

CASO'S INTERNET UNIVERSITY (<http://caso.com>). College Courses by Computer (USA).

THE EDUCATION & CAREER CENTER (<http://www.petersons.com>). USA.

WORLD WIDE WEB SERVER FOR

TEACHING, RESEARCH, AND DEPARTMENTAL USE (<http://weber.u.washington.edu>). Universidad de Washington. Destinado a publicar todo tipo de información sobre recursos didácticos y resultados.

BIONET TEACHING AND LEARNING TECHNOLOGY PROGRAMME (<http://www.icbl.hw.uk:80/TLTP>). Reino Unido. Enseñanza a distancia con ordenadores.

INRIA (<http://www.inria.fr>). Institut National de Recherches en Informatique et en Automatique (Strasburgo, Francia). Enseñanza asistida por ordenador.

Otro grupo de servidores ofrecen programas on-line, sobre muy diversas materias, que se pueden cursar en Internet. Desde la aparición del entorno WWW Internet ha sido considerado como un medio ideal para impartir cursos virtuales, pero a pesar de su reconocida eficacia, los cursos completos on-line han sido aplicados hasta ahora en limitados campos de la ciencia, utilizándose normalmente la enseñanza a distancia a través de Internet sólo como complemento de la docencia tradicional.

Un interesante ejemplo en nuestro país es la **UNIVERSIDAD ABIERTA DE CATALUÑA** (<http://www.uoc.es>), aunque carece de cursos especializados en ciencia del suelo.

En lo que respecta a la Ciencia del Suelo, destacamos:

AN INTRODUCTION TO THE STUDY OF SOILS (<http://www.cstudies.ubc.ca/disted/Courseout/AgSci/Soil/Soil200.html>). Distance Education at the University of British Columbia.

FUNDAMENTALS OF SOIL SCIENCE (<http://pio.okstate.edu>). Universidad de Oklahoma, Estados Unidos.

INTRODUCTION TO SOIL SCIENCE (<http://www.cstudies.ubc.ca/MB500/GISWeb/Courseout/AgSci/Soil/Soil200.html>). Universidad de British Columbia.

INTRODUCTORY TO SOIL (<http://syllabus.syr.edu/esf/rdb Briggs/for345>). Universidad de Siracusa, USA.

BASIC SOILS (<http://www.soils.umn.edu/academic/classes/soil3125/doc/labunts.htm>). Universidad de Minnesota, USA.

GEOMORPHOLOGY AND SOILS (<http://www.adm.uwaterloo.ca:80/infoded/de.html>). University of Waterloo. Ontario, Canada.

LANDFORMS AND SOILS (<http://stripe.colorado.edu/~cewww>). Universidad de Colorado. Estados Unidos.

SOIL AND WATER CONSERVATION (<http://www.dce.ttu.edu/colindex.htm>). Universidad de Texas, USA.

ON-SITE WASTEWATER DISPOSAL, MODULE 2: SOIL EVALUATION (<http://www.cde.psu.edu/de>). Universidad de Pennsylvania, USA.

SOIL MANAGEMENT (<http://www.qldnet.com.au/acs>). Australian Correspondence Schools.

SOIL FERTILITY MANAGEMENT (<http://www.dce.ttu.edu/colindex.htm>). Universidad de Texas, USA.

ENVIRONMENTAL GEOLOGY (http://www.umanitoba.ca/faculties/con_ed/de/index.html). University of Manitoba, USA.

ENVIRONMENTAL GEOLOGY (<http://www.ECNet.Net/users/miebis>). Universidad de Western Illinois, USA.

ENVIRONMENTAL CONSERVATION (<http://www.indiana.edu/~scs/homepg.html>). Universidad de Indiana, USA.

ENVIRONMENTAL CONSERVATION (<http://www.uscolo.edu/coned>). Universidad de Southern Colorado, USA.

ENVIRONMENTAL CONSERVATION (<http://www.uwex.edu/ilearn/index.html>). Universidad de Wisconsin, USA.

4. INTRANET EN EDUCACIÓN

El concepto de Intranet nace como consecuencia del boom de Internet. Si Internet tiene unas tecnologías, protocolos, lenguajes, navegadores y todo tipo de programas que han demostrado su eficacia, ¿por qué no trasladar

este enorme experiencia a las redes locales? Las universidades, las instituciones y las empresas han respondido creando Intranet.

Se entiende por Intranet, las redes locales que utilizan los protocolos de Internet. Se trata de una réplica a nivel local de la World Wide Web y por ello está teniendo un gran auge en los últimos años. Según algunos autores Intranet representa la tercera fase en la evolución de Internet (la primera fase fué el correo electrónico mientras que la WWW representó el segundo gran salto). Si el 1995 es considerado como el año de Internet, el 1997 será el año del despliegue definitivo de Intranet. La tecnología WWW ha demostrado ser la ideal para la integración de las diversas plataformas y sistemas informáticos de una Universidad. Las ventajas que representa Intranet como red interna de una Universidad son evidentes. Como cualquier otro sistema de red local, reduce los costes de distribución de información interna. En segundo lugar, centraliza el acceso a la información actualizada de la organización. Finalmente, además de facilitar el acceso entre los usuarios internos (docentes, alumnos y personal administrativo) permite ofrecer la información a los usuarios externos con un mínimo coste.

Como Intranet tiene casi siempre salida a Internet puede haber confusión entre ambos medios, y de hecho el usuario no tiene por que saber si esta conectado a Internet o a Intranet.

En este artículo centraremos en Intranet todo lo referente a la utilización de las redes informáticas como medio de complementar la docencia con nuestros alumnos. Los cuales pueden acceder a la información con Intranet en los ordenadores de los laboratorios de prácticas y de las salas de informática de nuestra Universidad, pero también desde cualquier máquina exterior por medio de Internet (con acceso completo o parcial).

En el Departamento de Edafología y Química Agrícola de la Universidad de Granada disponemos de un laboratorio con una red local con 12 ordenadores permanentemente abierta que proporciona tanto docencia individualizada como impartida en grupos de hasta 36 alumnos.

Además de asistir a la enseñanza que de un modo tradicional se imparte en el Departamento, pensamos que este tipo de docencia multimedia interactiva va a tener un papel predominante muy especialmente para el desarrollo de las asignaturas ofertadas a nivel de libre configuración. Con la enseñanza personalizada en horario abierto creemos evitar el grave problema de incompatibilidad horaria que presenta la impartición de estas asignaturas a alumnos de licenciaturas muy diversas. Durante el próximo curso 1997/98 pensamos desarrollar, en esta línea, la enseñanza de la asignatura de Tecnología de Suelos. En el horario establecido se desarrollará la docencia interactiva, asistida por el profesorado; fuera de ese horario los alumnos podrán utilizar libremente el aula informática. También pensamos que puede ser útil facilitar un CD ROM para aquellos alumnos que tengan problemas de asistencia a nuestro laboratorio. En el siguiente curso académico pretendemos ofrecer toda la información en Internet, con lo cual, además de facilitar el acceso a nuestros alumnos desde sus domicilios o desde otros centros, creemos que se pueden beneficiar alumnos de otras universidades. Como complemento a esta docencia se desarrollarán algunas clases teóricas tradicionales, así como las correspondientes prácticas presenciales de laboratorio y las imprescindibles salidas al campo.

El sistema docente basado en clases teóricas en el aula y con clases prácticas asistidas por ordenadores en el laboratorio, puede ser coherente con las condiciones actuales, no obstante la situación parece estar cambiando y las tendencias más innovadoras tienden a introducir los ordenadores en las aulas más que llevar a los alumnos a las salas de informática.

5. PERSPECTIVAS

En el aspecto de la comunicación y de la información, hoy ya, Internet representa una revolución.

En el mundo de la publicación científica la

edición electrónica de los documentos parece ofrecer unas inmejorables perspectivas, dadas las características de este medio: facilidad de edición, inmediatez, difusión, economía y ahorro energético.

Según los editores de la revista on-line SCIENCE OF SOIL, la edición electrónica goza de varias ventajas:

- i) Acceso mundial ilimitado.
- ii) Facilidad de envío de los artículos y de revisión on-line.
- iii) Rápida publicación de los artículos.
- iv) Extensión ilimitada.
- v) Publicación en color, para gráficos y fotografías.
- vi) Publicación de dibujos en tres dimensiones.
- vii) Presentación multimedia completa, interactiva y con hipertexto.
- viii) Facilidad de comunicación y discusión entre autores y lectores.

El aspecto de rendimiento económico de las revistas, que creemos que representa hoy el principal escollo para implantación de las versiones on-line, se podrá solucionar en breve con la utilización de claves de acceso limitadas a los suscriptores (personal o institucional), cuotas de acceso esporádico, gravamen por impresión, e incluso la publicidad puede sufragar algunos gastos. Para un futuro inmediato no parece aventurado afirmar que la edición electrónica a través de Internet será un medio generalizado.

La facilidad que ofrece Internet para publicar información y su ilimitada difusión hará que en breve plazo resultará imprescindible para el profesorado consultar periódicamente la Web para mantenerse informado.

La WWW está abriendo nuevas posibilidades docentes no sólo en la educación a distancia sino que también se están produciendo importantes cambios en los tradicionales sistemas docentes de las universidades. El sistema clásico de docencia fundamentada en las clases magistrales está perdiendo protagonismo a favor de una docencia más personalizada e

interactiva. Al alumno se le proporciona una información básica (a ser posible en un documento multimedia), se le dirige a otras fuentes de información (que pueden ser textos digitalizados y direcciones de Internet a sitios especializados) y se le ofrecen orientaciones y se le aclaran posibles dudas (en modo presencial o a través de las redes informáticas). De esta manera el profesor ejerce más como tutor y guía que como instructor y así los alumnos aprenden caminando.

Hoy día se está ya desarrollando lo que se llama Universidad Virtual, Campus Virtual y Aula Virtual (UNIVERSITY ONLINE, USA, <http://www.uol.com> y VIRTUAL ONLINE UNIVERSITY, TELNET://brazos.iac.net8888). En esta línea se encuentran algunas universidades americanas como la de Berkeley y la de Kentucky (DIVERSITY UNIVERSITY <http://www.du.org> y TELNET://moo.du.org 8888) y la de Syracuse (MUNDO HISPANO <http://web.syr.edu/~Imturbee/mundosp.html>) y algunas canadienses como la de Waterloo en Ontario (<http://watarts.uwaterloo.ca:80/~camoock/mool.html>), que están diseñando clases virtuales a través de los entornos MUD (Multi-user Domain) y MOO (MUD with Object Oriented). Mientras que el correo electrónico, Gopher y la propia WWW permiten sólo un uso estático, el MOO facilita una interrelación dinámica entre los usuarios y el servidor, lo que proporciona un medio ideal para desarrollar clases interactivas que no requieren presencia física. Con estos sistemas los usuarios pueden moverse e interactuar en tiempo real entre ellos y con el entorno en donde se encuentran representados.

Una Universidad de este tipo podría funcionar de la siguiente manera. Al hacer nuestra solicitud de admisión, vía Internet, se nos otorga un nombre, una clave de acceso y quedaremos representados por un icono (posiblemente un muñeco). Al conectarnos al servidor correspondiente se nos representará un campus virtual con una serie de edificios. Mediante el ratón podremos desplazarnos por el campo virtual. Podremos observar, solicitar información

a todos los objetos, dialogar con otras personas presentes, y a su vez los demás podrán identificarnos y establecer comunicación con nosotros. Cada edificio corresponderá a una determinada rama de la ciencia. Dentro de cada edificio se nos ofrecerán una serie de compartimentos que representarán a cada una de las disciplinas que componen una determinada licenciatura. En cada asignatura se podrán encontrar una serie de habitaciones. Algunas de ellas serán aulas virtuales en las que mediante documentos multimedia interactivos se explicarán las lecciones del programa, que por supuesto, podrán ser consultadas de manera individualizada. Junto a esta clase virtual puede encontrarse un seminario en el que el profesor, en un determinado horario, responderá a las preguntas de los alumnos. El profesor podrá ayudarse de numerosos recursos interactivos, que están ya disponibles en los servidores Web especializados (proyector virtual de audio y video, pizarra virtual, carteles interactivos, objetos interactivos, librería virtual, grabador de las sesiones de consulta, etc.). Además los alumnos podrán establecer coloquios con los otros alumnos que estén conectados en ese momento (visualizados por muñecos) y también podrán dejar mensajes para ser contestados posteriormente por el profesorado.

El campus virtual descrito corresponde al modelo de representación gráfico, pero estos entornos MOO pueden ser más sencillos, mediante simples entornos textuales. En esta línea están los Campus Virtuales actualmente en experimentación en las universidades americanas y canadienses anteriormente citadas. Como en cualquier entorno MOO el espacio es dividido en una serie de áreas y estas a su vez en una serie de habitaciones (salas de reuniones, locales de tertulia, sitios de entretenimiento, clases, biblioteca...). Cada habitación es descrita mediante un texto. Típicamente consta de tres unidades. En primer lugar se describe brevemente la habitación en que nos encontramos y se le da un nombre para su identificación. Después se explican los contenidos: que objetos existen (tablero de anuncios, pizarra, murales,

proyector, etc) y quienes estan conectados en esa clase en ese momento (MariaD, JuanR, por ejemplo). Finalmente se nos explica en que direcciones se encuentran la salida y las conexiones con otras habitaciones. Mediante el teclado nos desplazamos (connect, go, north, west, quit, room, ...) e interactuamos con los objetos presentes (look, examine, read, ...) y dialogamos con los otros usuarios presentes (knock, say, ask, whisper, nod, smile, <texto a transmitir>,...).

En definitiva, cada día aparecen nuevos servicios que proporcionan nuevas posibilidades y sin duda todo ello va a hacer cambiar nuestro comportamiento docente. La revolución que estas técnicas va a representar en la docencia queda plasmada de un modo muy gráfico en el lema del Workshop que sobre LEARNING AND TEACHING se celebró en la 5ª Conferencia Internacional de la WWW (SIWWWC) celebrada en París (1996) "En la Era Industrial fuimos a la escuela, en la Era de las Comunicaciones la escuela viene a nosotros".

Para terminar hagamos una reflexión. La gran mayoría de los profesores universitarios tenemos sobre nuestra mesa de despacho un ordenador que utilizamos para nuestra investigación. Pero ¿cuantos lo aplicamos para la docencia?. Normalmente sólo se usa para preparar los esquemas para las clases "magistrales". Las enormes posibilidades de los ordenadores personales como instrumento docente es algo que admite poca discusión. Sin embargo, muy pocos son los profesores que los utilizan adecuadamente. Esta postura tan conservadora se enfrenta a la innovadora posición del alumnado, ¿Hasta cuando se va a mantener esta situación? En definitiva, ¿no estaremos explicando las ideas de hoy con las técnicas de ayer?

6. BIBLIOGRAFÍA

- AIRFLOW/SVE. Waterloo Hydrogeologic (<http://www.rockware.com/catalog>).
- CMLS. IFAS Software Support. Building 120. Room 203. University of Florida. Gainesville. Fl 32611-0162.
- CO3SOL.
- Micromorphological Aspects of the calcification/decalcification processes in Red Mediterranean Soils. Dorronsoro, C.; Stoops, G.; Aguilar, J.; Fernández, J. 1996. Red Mediterranean Soils. Third International Meeting. Chalkidiki, Grecia. 44-45.
 - Interactive computer programme for demonstration of micromorphological aspects of calcification processes in soils. Dorronsoro, C.; Aguilar, J.; Fernández, J. 1996. 10th Int. Working Meeting on Soil Micromorphology. Moscú. July 8-13.
- CONSERVATION TILLAGE. Minnesota Extension Service. 3 Coffey Hall. 1420 Eckless Avenue. University of Minnesota. St Paul. MN 55108. USA.
- CTI-CLUES. Centre of Information Technologies for Land Use and Environmental Sciences, Aberdeen, United Kingdom. (<http://www.clues.abdn.ac.uk>: 8080) FAX: +44(0)1224 273752. E-mail: CLUES@aberdeen.ac.uk
- ECOSAT. Universidad de Agricultura de Wageningen de Holanda. (<http://www.benp.wau.nl>).
- ENVIRONMENTAL HYPERMEDIA/MULTIMEDIA PROGRAMS. Universidad de Ohio (<http://ad254-5.ag.ohio-state.edu/ocms/Subjects.html>).
- GYP SOL. Interactive computer programme for demonstration of micromorphological aspects of gypsiferous soils. Stoops, G.; Aguilar, J.; Dorronsoro, C.; Fernández, J.; 1996. Int. Symp. Soils Gypsum. Lérida. 68.
- HANDBOOK FOR SOIL THIN SECTION DESCRIPTION. Bullock, P.; Fedoroff, N.; Jongerius, A.; Stoops, G.; Tursina, T.; Babel, U. 1985. ISSS. Waine Research. Pub. Wolverhampton, UK.
- HYDROSOL. Interactive computer programme for demonstration of micromorphological aspects of the process of hydromorphology in soils. Dorronsoro, C.; Aguilar, J.;

- Fernández, J. 1996. 10th Int. Working Meeting on Soil Micromorphology. Moscú. July 8-13.
- HYPERCARD. 1990. Reference. Claris. Santa Clara. California. USA.
- HYPERTALK. 1990. Scrip Language Guide. Claris. Santa Clara. CA. USA.
- ILLUVSOL.
- Micromorphological aspects of the clay elluviation/illuviation processes in Red Mediterranean Soils. Aguilar, J.; Fernández, J.; Dorronsoro, C.; Stoops, G. 1995. Third International Meeting on Red Mediterranean Soils. 125-127. Chalkidiki, Grecia.
 - Interactive computer programme for demonstration of micromorphological aspects of clay illuviation processes in soil. Aguilar, J.; Fernández, J.; Stoops, G.; Dorronsoro, C. 1996. 10th Int. Working Meeting on Soil Micromorphology. Moscú.
- INTERACTIVE SIMULATION OF 1-D WATER MOVEMENT IN SOILS. IFAS Software Support. Building 120. Room 203. University of Florida. Gainesville. FL 32611-0162.
- IWWWC
- 1st INTERNATIONAL WORLD WIDE WEB CONFERENCE. 1994. Ginebra. Suiza. (<http://www.cern.ch/www94>).
 - 2nd INTERNATIONAL WORLD WIDE WEB CONFERENCE. 1994. Chicago. USA. (<http://www.ncsa.uiuc.edu/SDG/IT94/IT94Info-old.html>).
 - 3th INTERNATIONAL WORLD WIDE WEB CONFERENCE. 1995. Darmstadt. Alemania. (<http://www.igd.fhg.de/www95.html>).
 - 4th INTERNATIONAL WORLD WIDE WEB CONFERENCE. 1995. Boston. USA (<http://www.w3.org/pub/Conferences/www4>).
 - 5th INTERNATIONAL WORLD WIDE WEB CONFERENCE. 1996. Paris. Francia. (http://www5conf.inria.fr/fich_html/cnit_html).
 - 6th INTERNATIONAL WORLD WIDE WEB CONFERENCE. 1997. California. USA. (<http://www6conf.slac.stanford.edu>).
 - 7th INTERNATIONAL WORLD WIDE WEB CONFERENCE. 1998. Brisbane. Australia. (<http://www7.conf.au>).
- KEYS TO SOIL TAXONOMY. Septima edición. 1996/7. Soil Survey Staff. United States. (<http://www.statlab.iastate.edu/soils/keytax/content.html>).
- LAND EVALUATION LECTURES NOTES. D.G. Rossister. Universidad de Cornell. USA. (<http://wwwcas.cit.cornell.edu/landeval>).
- LA ENSEÑANZA DE LA MICRO-MORFOLOGÍA DE SUELOS ASISTIDA POR ORDENADOR. Dorronsoro, C. 1996. XIII Cong. Latinoamericano de Ciencia del Suelo. Edición electrónica.
- LECTURE NOTES IN SOIL PHYSICS. Kurt Roth. Universidad de Hohenheim. Stuttgart. Alemania. (<http://www.uni-hohenheim.de/~kurt/sp3.html>).
- MICROPEDOLOGY. Interactive computer programme for self-teaching of soil thin description. Aguilar, J.; Dorronsoro, C.; Fernández, J. 1996. 10th Int. Working Meeting on Soil Micromorphology. Moscú.
- MORPHOCLASOL.
- CLASSOLS: A Macintosh expert program for self-teaching soil classification. Dorronsoro, C.; Aguilar, J.; Fernández, J. 1994. Transac. 9:65-81. XV International Congress of Soil Science. Mexico.
 - CLASSOLS. Programa multimedia interactivo para el aprendizaje en clasificación de suelos. Dorronsoro, C.; Aguilar, J.; Fernández, J. 1994. Desarrollos en investigación y docencia universitaria sobre plataforma Macintosh. UNIMAC'94. 3:479-485. Madrid.
- MULTISPEC. Universidad de Purdue de USA. (<http://dynamo.ecn.purdue.edu/~biehl/MultiSpec>).

- NAMETHESOIL. CR Software. 19 Maeshendre. Waunfawr. Aberystwth. Dyfed SY23 3PR.
- OPTMINE.
- OPTICA MINERAL. Un programa Macintosh interactivo sobre el concepto y la evaluación de las propiedades ópticas de los minerales. Dorronsoro, C.; García, A. 1992. III CONG. GEOL. ESP. y VIII CONG. LATINO GEOL. 368-373.
 - MICROMINE. Identificación paso a paso de minerales. Dorronsoro, C.; Alonso, P.; Bravo, A. 1992. III CONG. GEOL. ESP. 363-367.
 - AREFIN: Programa multimedia para el reconocimiento de la mineralogía de las arenas finas. Dorronsoro, C. y Rodríguez, R. 1992. III CONG. GEOL. ESP. 374-378.
 - Curso multimedia interactivo para el autoaprendizaje de la óptica mineral. Dorronsoro, C.; García, A.; Bravo, A.; Alonso, P.; Rodríguez, R. 1993. BOL. SOC. ESP. MINERALOGÍA. 16/1:155-156.
 - Interactive computer programme for self-teaching optical mineralogy. Dorronsoro, C.; García Navarro, A.; Bravo, A. 1996. 10th Int. Working Meeting on Soil Micromorphology. Moscú. July 8-13.
 - OPTMINE. Un curso multimedia para el autoaprendizaje de la optica mineral. Dorronsoro, C.; Garcia Navarro, A.; Fernández, J. 1996. UNIMAC'96. Zaragoza. Edición electrónica.
- PERFECT. Soil Consercation Branch. The Queensland Departament of Primary Industries. Brisbane. Queensland. Australia.
- PROBING OUR SOILS. Universidad de Ohio. (<http://ad254-5.ag.ohio-state.edu/ocms/Subjects.html>).
- POLLUTE. Institute for Computer Learning. Heriot-Watt University de Edimburgo. (<http://ithaca.icbl.hw.ac.uk:8000>).
- RECOMMENDED SOIL TESTING PROCEDURES FOR THE NORTHEASTERN UNITED STATES. Northeastern Regional Publication No. 493 Agricultural Experiment Stations of Connecticut, USA.
- SLIM. T.M. Addiscott. AFRC Institute of arable Crops Research. Rothamsted Experimental Station. Harpenden. Herts. AL2 2JQ. Inglaterra.
- SIMULATED LABORATORY TESTS ON SOILS. Institute for Computer Learning. Heriot-Watt University de Edimburgo. (<http://ithaca.icbl.hw.ac.uk:8000>).
- SOIL AND WATER RELATIONSHIP. Universidad de Ohio. (<http://ad254-5.ag.ohio-state.edu/ocms/Subjects.html>).
- SOIL CONSERVATION SURVEYS GUIDEBOOK. Forest Service Universidad de British Columbia. Canada (<http://www.gov.bc.ca/tasb/legsregs/fpc/pcguide/SOILSURV/soil-toc.htm>).
- SOIL DEPLETION ESTIMATES MODELS. Universidad de Cornell USA (gopher://usda.mannlib.cornell.edu/11/data-sets/land/9004).
- SOIL EROSION. Eldon E Fredericks. Agricultural Communication Departament . Purdue University. Washington DC. USA.
- SOIL EROSION (b). Minessota Extensión Service. 3 Coffey Hall. 1420 Eckless Avenue. University of Minnesota. St Paul. MN 55108. USA.
- SOIL GLOSSARY. Harrison R.B. Universidad de Washington. Seattle. USA. (<http://www.soils.org/sss.html>).
- SOIL HUMIC SUBSTANCES. Jerzy Weber. Departamento de Ciencia del Suelo. Universidad de Wroclaw. Polonia (<http://www.ar.wroc.pl/~weber/humic.htm>).
- SOILOSS. Drosdowsky. Bureau of Meterology, Special Service Unit. PO Box 1289K. Melbourne. VIC 3001. Australia.
- SOILPROP. Environmental Systems and Technologies. (<http://www.rockware.com/catalog>).
- SOIL RESOURCE MANAGEMENT. Universidad de Nebraska. USA. (<http://ianrwww.unl.edu/ianr/pubs/catalog/soil.htm>).
- SOILS. Alberta Agriculture, Food and Rural

I SUOLI POLARI

F.C. UGOLINI

Dip. di Scienza del Suolo e Nutrizione della Pianta, P.le delle Cascine 28, Firenze, Italia.

RIASSUNTO

I suoli polari si formano in un ambiente caratterizzato da freddo intenso, scarsità di precipitazioni, presenza del permagelo e alternanza di lunghi periodi di luce e oscurità. Per questo i loro profili sono poco sviluppati e spesso "crioturbati". Sulla base di criteri climatici, vegetazionali e pedologici l'Artico è stato suddiviso in Tundra e Deserto Polare. Queste due zone non sono ben rappresentate nell'Antartide, dove domina invece il Deserto Freddo.

Nella Tundra, specie su materiali fini il permagelo è vicino alla superficie, per cui durante il periodo del disgelo si tendono a creare condizioni idromorfiche. I suoli della Tundra oltre che essere influenzati dal processo di idromorfismo sono spesso crioturbati. In Alaska solo circa il 10% della superficie della Tundra è ben drenato e quindi relativamente stabile.

Comuni sono anche i suoli organici perché la paludificazione ed il freddo favoriscono l'accumulo di sostanza organica.

L'isoterma di 4°C per il mese di luglio delinea il confine tra la Tundra (a sud) ed il Deserto Polare. Il Deserto Polare è molto più freddo e arido, e quindi meno vegetato della Tundra. La superficie del suolo è coperta per non più del 3% da piante vascolari e i profili mostrano un modesto grado di sviluppo.

Condizioni idromorfiche si verificano nei suoli formati su materiali fini dove la falda gelata è prossima alla superficie. I processi di criogenesi spesso interrompono l'azione di quelli pedogenetici, dando origine al *patterned ground*.

In Antartide la formazione dei suoli non è limitata solo da quello che è il clima più freddo e più arido della Terra, ma anche dalla scarsità di superfici libere da ghiaccio.

I suoli sono coperti dal "desert pavement", mancano di una copertura vegetale e mostrano orizzonti poco definiti; sono cioè simili ai suoli dei deserti caldi.

Solo lungo le coste, dove esistono colonie di pinguini e dove durante l'estate c'è sufficiente acqua da permettere la crescita di muschi, alcuni suoli sono relativamente ricchi in materia organica. Il principale effetto dell'aridità del clima antartico è l'accumulazione di sali solubili nel suolo, specie vicino alla superficie e nelle depressioni. Grazie alla scarsa erosione e alla stabilità geomorfologica delle superfici, in Antartide si sono conservati suoli antichissimi, risalenti addirittura al Miocene.

Per la loro diversa configurazione geografica, l'Artide e l'Antartide mostrano condizioni climobiologiche e pedologiche abbastanza differenti. In particolare, nell'Artide dominano i suoli idromorfi mentre nell'Antartide sono preponderanti quelli desertici.

INTRODUZIONE

Tranne che per la loro posizione geografica, accentrata nelle latitudini estreme, l'Artide e l'Antartide non sono strettamente paragonabili (Fig. 1 e 2). Infatti, mentre l'Artide è rappresentato da un bacino oceanico circondato dai continenti Eurasiatico e Nordamericano, con relativi arcipelaghi, l'Antartide è un vero e proprio continente esteso attorno al Polo Sud. Le terre emerse dell'Artide hanno una superficie complessiva di circa 7.6 milioni di km² mentre il continente Antartico di circa 14 milioni di km². Proprio per la sua configurazione l'Artide è più caldo dell'Antartide. La temperatura più bassa dell'emisfero settentrionale, -68°C, fu registrata nell'Artide, a Verhoyansk (67° 35' N, 133° 27' E, 1800 km a sud del Polo Nord), mentre in Antartide è stata rilevata la temperatura più bassa dell'intero pianeta (-88°C, a Vostok, 106° 48' E, -78° 28' S). L'Antartide, unico continente completamente al di fuori del limite delle foreste, è inoltre più arido dell'Artide.

I suoli delle due regioni riflettono la differente situazione climatica. Generalizzando, si può dire che i suoli dell'Antartide sono del tipo desertico, mentre quelli dell'Artide solo in parte appartengono a questa tipologia; per il resto sono suoli idromorfi.

L'ARTIDE

Dal punto di vista pedoclimatico l'Artide è caratterizzato da inverni rigidi, estati brevi, scarsità di precipitazioni e suoli interessati da fenomeni criogenici e presenza del permafesto. Tedrow (1972) suddivise l'Artide in due zone: la "Tundra" e il "Deserto Polare" (Fig. 3). Altri tipi di suddivisione sono stati proposti da botanici. In base alla vegetazione, Bliss (1978) nell'Artico nordamericano individuò (Fig. 1) l'High Arctic (Artide Alto) ed il Low Arctic (Artide Basso). Il primo coincideva più o meno con la Tundra, il secondo con il Deserto Polare. Nell'Artide Euroasiatico Chernov e Matveyeva

(1979) riconoscono la Tundra ed il Deserto Polare; la prima, a sua volta, è suddivisa in Southern Tundra (Tundra meridionale), Typical Tundra (Tundra tipica) e Arctic Tundra (Tundra artica).

Nell'Artico Nordamericano vi sono notevoli diversità climatiche e floristiche fra i territori continentali e quelli dell'immenso Arcipelago Canadese, mentre nell'Artico Euroasiatico i cambiamenti nel clima e nella distribuzione e conformazione delle specie vegetali sono gradualmente.

Tedrow (1977) suddivise il Deserto Polare in due sottozone: il "Deserto Polare" propriamente detto ed il "Deserto Subpolare" (Fig. 3). La distinzione non si basa su un unico parametro, ma piuttosto su una combinazione di fattori: il substrato geologico, la vegetazione, il clima e l'aspetto generale. Le due sottozone suggerite da Tedrow, sebbene entità reali e tangibili tali da costituire dei biomi, spesso si intersecano in maniera irregolare. In definitiva si può affermare che ognuna delle tre zone artiche, *sensu* Tedrow, è potenzialmente rilevabile, seppur con diverso grado di probabilità, nell'ambito dell'intera regione artica.

Nell'ambito di questo lavoro vengono considerate solo la Tundra e il Deserto Polare, in quanto caratterizzati da aspetti più peculiari e significativi.

La Tundra

La Tundra artica si estende per una superficie che rappresenta meno del 5% delle terre emerse. Tradizionalmente la Tundra è considerata la regione posta al di là del limite delle foreste, sulla quale vegetano piante erbacee e solo alcune arboree. In tutto vi si contano oltre 700 specie vascolari e circa la metà crittogame (Bliss, 1990). Il limite delle foreste coincide più o meno con l'isoterma di 10°C nel mese più caldo, luglio. Il limite settentrionale della Tundra fu individuato da Tedrow e Brown (1962) nell'isoterma di 4,4°C a luglio. La Tundra, intesa come insieme dei suoi caratteri climatici,

pedologici, geomorfologici e vegetazionali, non è tuttavia nettamente limitata da questi confini. Esistono infatti enclave di Tundra anche nel Deserto Polare, la zona posta a nord dell'isoterma $4,4^{\circ}\text{C}$ a luglio. D'altronde anche all'interno della Tundra, sui rilievi spazzati dal vento e privi dell'effetto coibente della neve, dove la vegetazione è quasi assente, è rilevabile talvolta il Deserto Polare.

La Tundra è un ambiente dominato dal

freddo, dalla scarsità di precipitazioni (quelle in forma di pioggia sono limitate alla stagione estiva) e dall'alternanza di lunghi periodi di luce e oscurità. Ma a causa della distribuzione circumpolare, il clima della Tundra non è uniforme (Tabella 1). Per esempio, a Murmansk, nella penisola di Kola ($68^{\circ} 58' \text{N}$, $33^{\circ} 05' \text{E}$), al limite meridionale della Tundra, la temperatura media di gennaio è di -10°C , quella di luglio è di 10°C e la precipitazione media annua è di 800

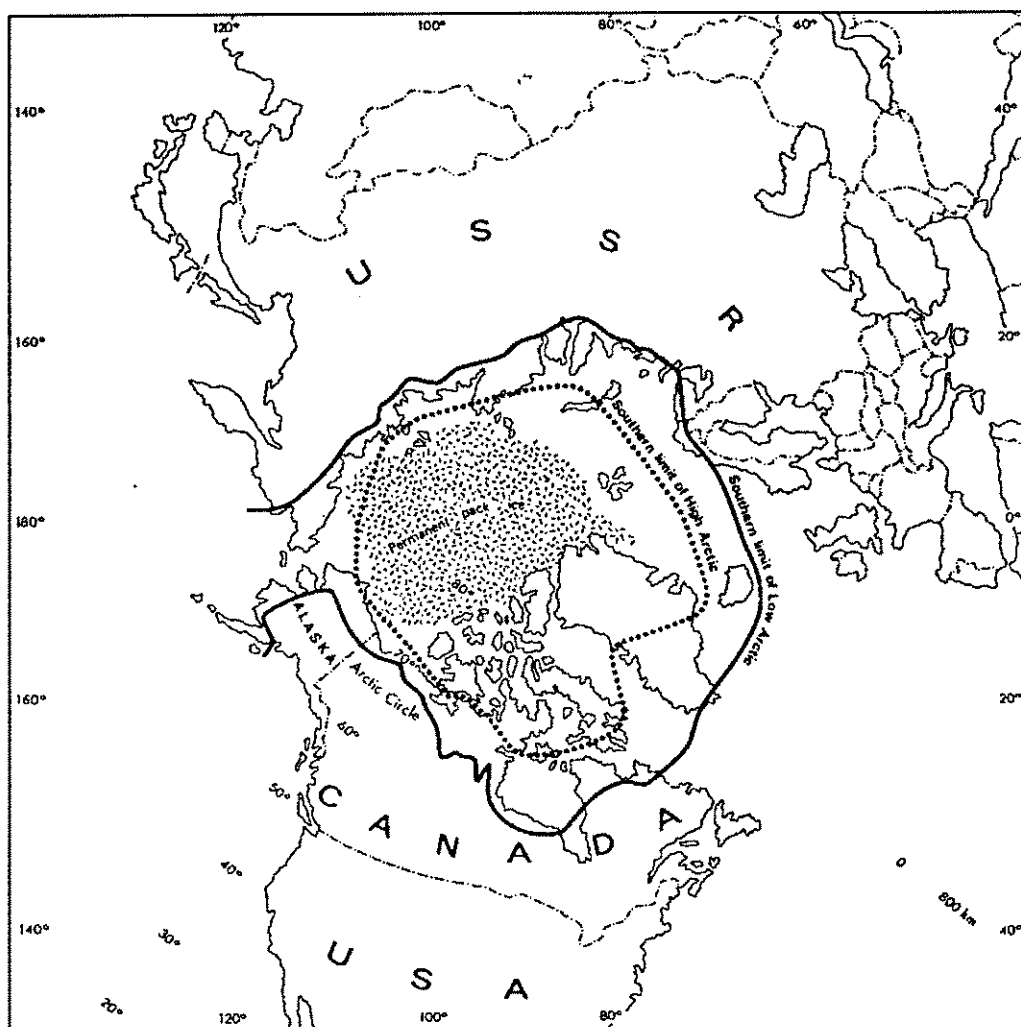


Fig. 1. Distribuzione circumpolare dell'Artide Alto e dell'Artide Basso. Modificato da Bliss, 1986.

mm. A Point Barrow, ($71^{\circ} 22' N$, $156^{\circ} 30' O$), Alaska, i tre valori sono rispettivamente $-26^{\circ}C$, $10^{\circ}C$ e 200-300 mm, mentre a Kap Celjuskin ($77^{\circ} 45' N$, $104^{\circ} 20' E$), penisola di Taymyr, sono $-30^{\circ}C$, $2^{\circ}C$ e 300 mm circa. In genere la Tundra Nordamericana è più umida di quella Euroasiatica.

A Point Barrow lo scioglimento del manto nevoso inizia a giugno e termina verso la metà

di agosto, mentre a Kap Celjuskin inizia dalla metà di giugno e dura fino all'inizio di luglio (Bliss e Matveyeva, 1992). Nei suoli posti su substrati grossolani dove la ritenzione idrica (e quindi il contenuto di ghiaccio) è inferiore, il disgelo è più rapido e arriva più in profondità (Fig. 4).

Nell'enorme estensione geografica della Tundra i fattori della formazione del suolo

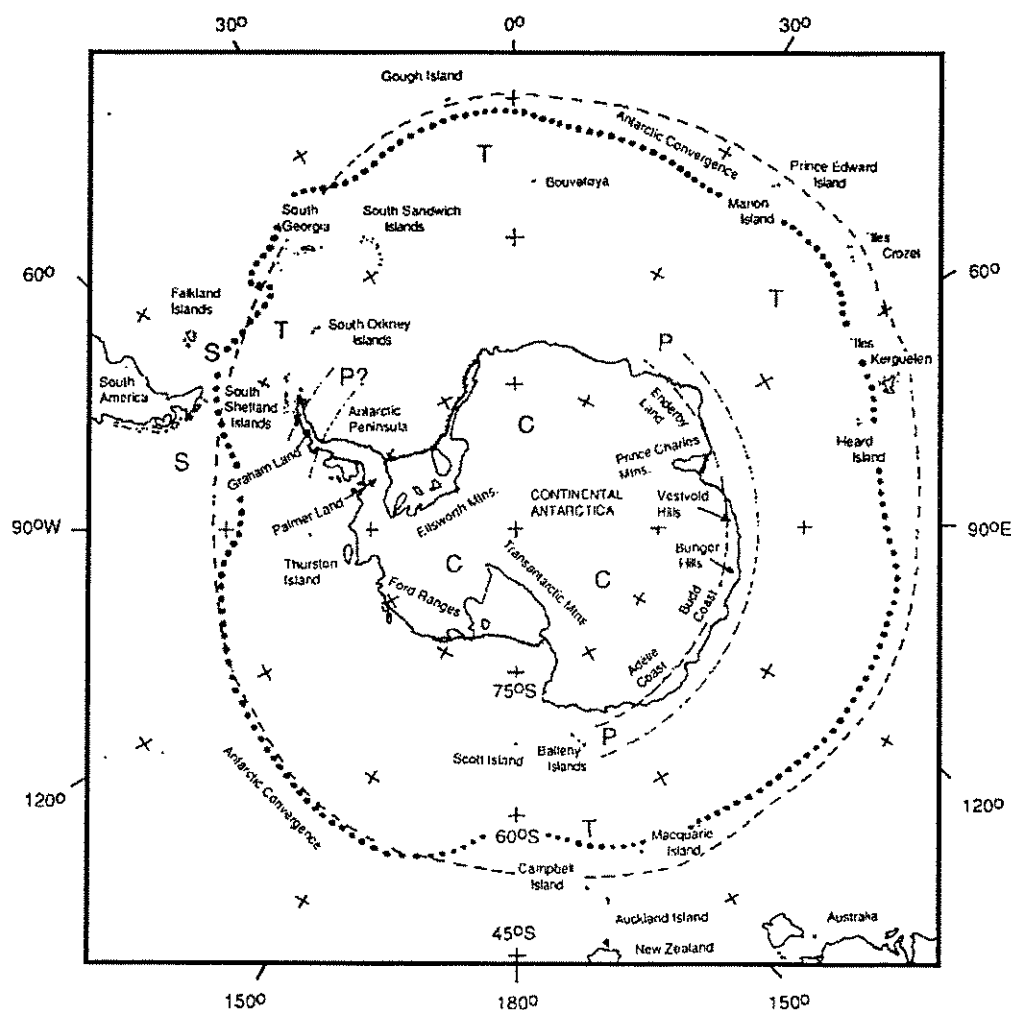


Fig. 2. Zone pedologiche dell'Artide: S, Foresta Subantartica; T, Tundra Subantartica; P, Deserto Polare Antartico; C, Deserto Freddo Antartico. La linea tratteggiata indica la Convergenza Antartica. Modificato da Bockheim e Ugolini, 1990.

variano considerevolmente da zona a zona, e con loro le caratteristiche dei suoli.

A parità di substrato geologico, l'accumulazione in superficie di materiale organico derivato da muschi e graminacee agisce da coibente e concorre a modificare la profondità del disgelo estivo (Fig. 5).

Il *permagelo*, lo strato di suolo con temperatura continuamente $\leq 0^{\circ}\text{C}$ per almeno 2 anni (Muller, 1947), non solo abbassa la temperatura del suolo ma, quando i suoi pori sono occlusi da ghiaccio, costituisce anche una barriera al drenaggio dell'acqua prodottasi in seguito al disgelo. Sui substrati limosi, comuni in molti settori della Tundra (Tedrow, 1977), lo "strato

attivo", cioè lo strato di suolo che annualmente si gela e disgela, va dai 20 ai 50 cm. Sui substrati grossolani lo strato attivo va dagli 80 a oltre i 150 cm. Lo spessore dello strato attivo è determinato da fattori ambientali locali; oltre alla tessitura, che controlla la ritenzione dell'acqua, importante è l'esposizione del suolo, la natura della copertura vegetale e lo spessore dell'orizzonte organico. Per esempio, in Siberia, nella regione dell'Igarka, Tyrtikov (1959) trovò che sotto un accumulo di torba lo strato attivo era di circa 35 cm mentre in un suolo privo di copertura organica era spesso ben 120 cm. Il transect tracciato da Brown (1968), riportato in

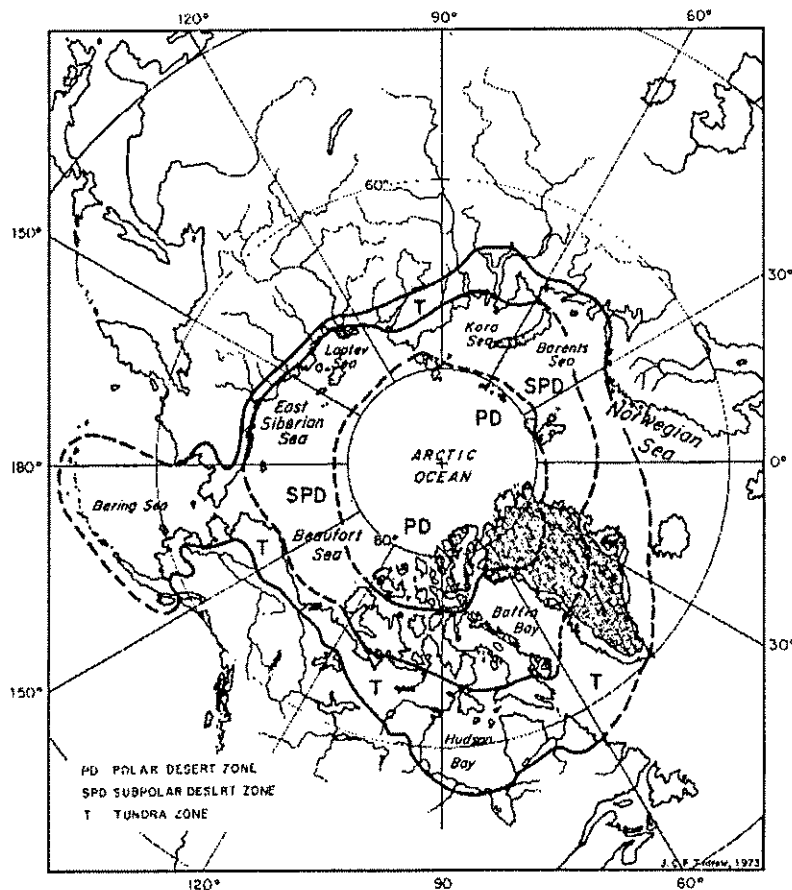


Fig 3. Zone pedologiche dell'Artide. Modificato da Tedrow, 1977.

Tabella 1. Dati climatici relativi ad alcune zone artiche - Tundra e Deserto Polare.

TUNDRA	latitudine	temperatura media di luglio	temperatura media annuale	precipitazioni medie annuali
Baker Lk., Canada	(65° N)	10.8°C	-12.2°C	213 mm
Murmansk, Russia	(70° N)	10.0°C	/	800 mm
Umiat, Alaska	(69° N)	11.5°C	-12.0°C	152 mm
Pt. Barrow, Alaska	(72° N)	3.8°C	-12.1°C	100 mm
Dickson, Russia	(73° N)	4.4°C	-10.6°C	165 mm
DESERTO POLARE				
Resolute, N.W.T.	(75° N)	4.3°C	-16.4°C	136 mm
Kap Celjuskin, Russia	(78° N)	1.7°C	-13.9°C	113 mm
Eureka, Canada	(80° N)	5.5°C	-19.3°C	58 mm
Groenlandia occidentale	(81° N)	4.2°C	-11.1°C	204 mm

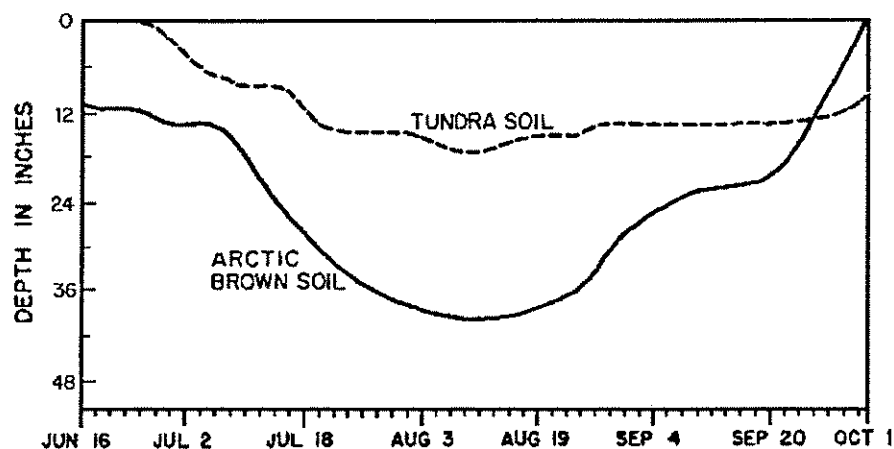


Fig. 4. Profondità raggiunte dal disgelo in un suolo della Tundra ed in un Arctic Brown durante l'estate artica del 1956 a Point Barrow, Alaska. Modificato da Drew et al., 1958.

paesaggio della Tundra di Truelove contrasta con il Deserto Polare circostante, coperto solo per l'1-4% della superficie e da non più di una quindicina di piante vascolari (Bliss, 1990); tale penuria di specie vegetali riduce notevolmente la presenza di uccelli e mammiferi.

I suoli del Deserto Polare sono fortemente influenzati dalla natura della roccia madre. Così su substrati sabbiosi i suoli risultano generalmente ben drenati, mentre su materiali fini (limosi) prevalgono i processi di riduzione (Ugolini et al., 1997). Tedrow et al. (1958) e Tedrow (1977) designarono i suoli ben drenati "Polar Desert Soils"; la U.S. Taxonomy (1996) li definisce Pergelic Cryorthents o Pergelic Cryopsamments, mentre il Canadian System (1978) li chiama Regosolic Static (Turbic) Cryosols.

Il tipico profilo di un suolo del Deserto Polare (Fig. 8 e 9) sensu Tedrow è coperto dal *Desert Pavement* (D), uno strato uniforme di ciottoli abrasati dal vento. L'orizzonte A è assente, in quanto mancano quasi del tutto le piante; dove queste sono presenti l'orizzonte A è discontinuo, costituito da "sacche" orizzontali. Continuo è invece l'orizzonte Bw; di colore giallo-bruno, è visibile alla superficie, al di sotto del pavimento sassoso. Oltre alla "rubefazione", l'arrossamento dovuto

all'ossidazione del Fe(II) a Fe(III) (Ugolini, 1986), altri processi pedogenetici avvengono in questo orizzonte. Uno è la formazione delle "silt caps", accumuli illuviali cupoliformi di limo sulla parte superiore dei clasti, generati dal processo di "pervexion" (Ugolini, 1986). Al di sotto dei clasti si ritrovano spesso croste di carbonati, caratterizzate dalla presenza di numerose piccole stalattiti; esse si formano per l'alternanza di decarbonatazione e riprecipitazione dei carbonati (Ugolini, 1986).

L'ANTARTIDE

L'Antartide (Fig. 2) è il continente più freddo del mondo, il più arido, il più ventoso ed il meno favorevole alla vita. Con una superficie di circa 14 milioni di km² è il quinto continente per estensione, ma solo il 2% di questa superficie è libera da ghiacci; infatti l'Antartide contiene il 90% del volume del ghiaccio sulla Terra, equivalente a circa 30 milioni di km³. Malgrado le zone libere da ghiaccio siano limitate, il loro totale ammonta alla superficie della Nuova Zelanda (Campbell e Claridge, 1987). Queste aree vengono chiamate "oasi", benché aride, fredde, prive di vegetazione e di animali; sono presenti solo insetti, batteri, alghe e, di tanto in tanto, piccole chiazze di muschio. Il russo

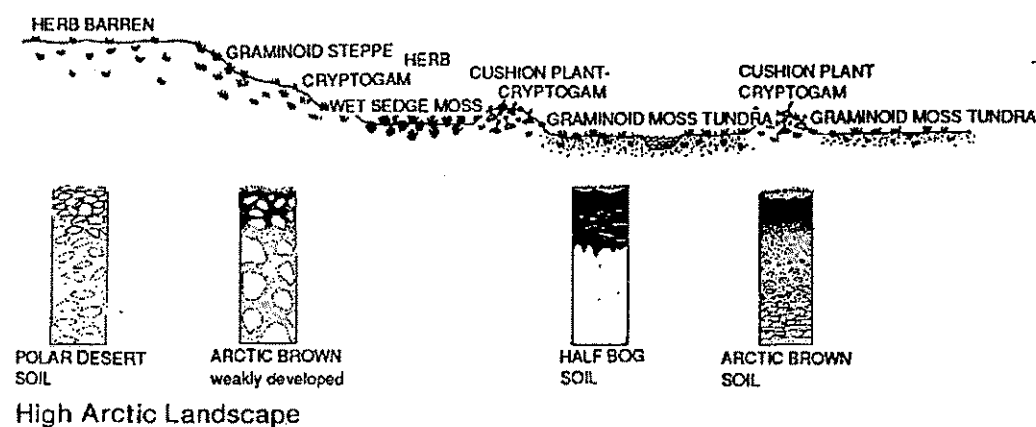


Fig. 8. Profili tipo del Deserto Polare Artico. Modificato da Tedrow, 1977.

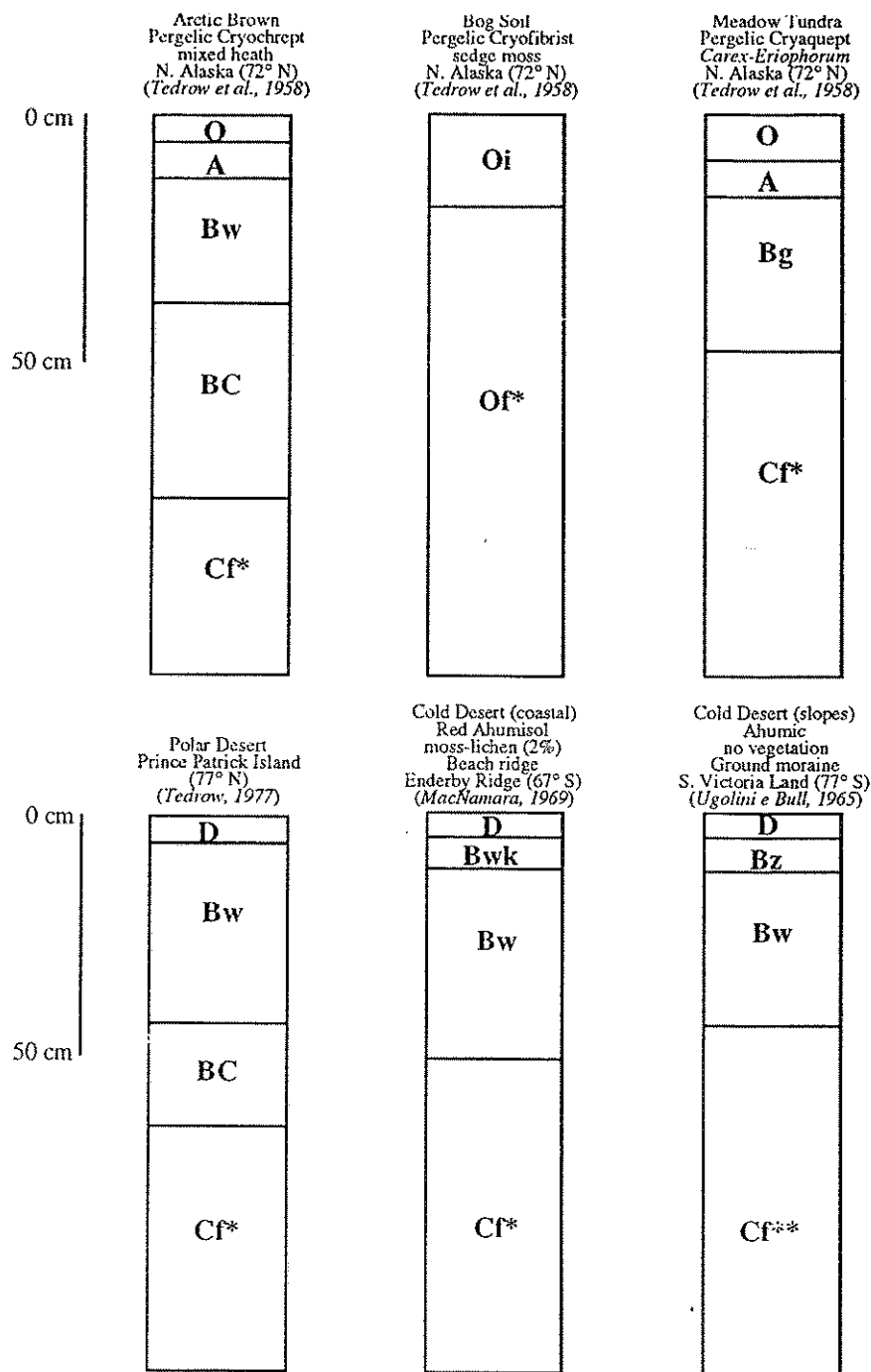


Fig. 9. Profili tipo di suoli artici ed antartici. (* Permagelo cementato dal ghiaccio; **Permagelo secco).

Markov (1956) le incluse nel "Cold Desert Ecosystem" (Ecosistema del Deserto Freddo). L'animale terrestre più grande dell'Antartide è una mosca priva di ali, la *Belgica antarctica*, mentre le forme più evolute della flora sono rappresentate da tre piante vascolari: la *Deschampsia parvula*, la *Deschampsia elegantula* e l'erba *Calobanthus crassifolius* (Llano, 1962). Questa "jungla" è però ristretta alla sola Penisola Antartica (Fig. 4). Piccole aree colonizzate da crittogame, collemboli e acari sono presenti anche lungo le coste. I batteri e le alghe sono le entità biotiche più comuni, e due batteri ed un lievito sono stati rinvenuti sul Monte Howe (87° 22' S, 149° 18' O), alla latitudine più alta della Terra (Cameron et al., 1971). L'Antartide non è stato sempre così povero di vita. Infatti, circa 250 milioni di anni fa, prima che il supercontinente Gondwana si smembrasse durante il tardo Mesozoico foreste di *Glossopteris* e altri generi crescevano in quella che è l'attuale parte orientale dell'Antartide (Doumani e Long, 1962).

I geologi hanno da tempo riconosciuto che l'Antartide è costituito da due masse continentali: l'Antartide Orientale, che è la più grande e che si innalza fino a 4000 m, e l'Antartide Occidentale, che include la Penisola Antartica, la cui quota massima non raggiunge i 1500 m. La Catena Transantartica segna la linea di divisione tra questi due sub-continenti. L'Antartide Orientale è ritenuto derivare dall'antica Gondwana, mentre l'Antartide Occidentale è costituito da un "arcipelago" di gneiss, scisti e sedimenti, con rocce vulcaniche confinate nella parte meridionale (Anderson, 1965).

Molto del territorio libero dai ghiacci dell'Antartide consiste di rilievi rocciosi, cime, creste e pareti scoscese, cioè superfici non adatte alla formazione del suolo. Una delle più grandi aree libere dal ghiaccio dove la pedogenesi può manifestarsi si trova nella Terra della Regina Vittoria del Sud (77° e 163° E, Fig. 2). Si tratta di un sistema di valli, alcune delle quali intercomunicanti, che occupa una superficie di

oltre 1000 km² (Pickard, 1986). Altre zone libere dai ghiacci sono situate lungo le coste orientali dell'Antartide: Burger Hills (482 km²), Vestfald Hills (411 km²), Windmill Isl. (40 km²), Shirmacher (23 km²), Soya Coast (10-100 km²) e Thala Hills (8 km²) (Pickard, 1986).

Dai punti di vista climatologico, botanico e pedologico l'Antartide è stato suddiviso in zone da Holdgate (1970), Tedrow (1977), Bliss (1979), Campbell e Claridge (1987) e Bockheim e Ugolini (1990) (Tabella 2). Nelle classificazioni di carattere pedologico il concetto ormai desueto di "zonalità" è ancora contemplato da tutti gli autori, poiché nel continente Antartico più che altrove sono le condizioni climatiche e la vegetazione che determinano direttamente o indirettamente l'azione dei processi pedogenetici. Questo approccio è d'altronde in linea con i concetti della U.S. Soil Taxonomy, la quale al livello di Ordine riconosce, su base climatica, gli "Aridisols" come i suoli dei deserti caldi e temperati freddi (U.S. Soil Taxonomy, 1996).

Nel continente Antartico la presenza del permagelo è ubiquitaria tranne che nelle zone prossime alla "Convergenza Antartica" (Fig. 2). Qui evidentemente l'influenza del mare attenua le temperature invernali (Bliss, 1979). Il permagelo dell'Antartide è meno ricco in ghiaccio di quello dell'Artide, sebbene la sua definizione si basi esclusivamente sulla temperatura. Dove il ghiaccio interstiziale è assente, molti materiali terrigeni si presentano incoerenti e polverulenti anche a temperature al di sotto di 0°C. Questo dimostra, insieme alla presenza di sali solubili, alla povertà di acqua libera e alla scarsità di attività biologica, la natura desertica dell'Antartide.

I processi pedogenetici dei suoli dell'Antartide

La pedogenesi nell'Antartide avviene in un ambiente arido e freddo. L'intensa evaporazione, che eccede le precipitazioni provoca l'accumulo di sali solubili nel suolo. Questi sali possono formare croste alla superficie, accumularsi in determinati orizzonti o rimanere dispersi in

Tabella 2. Zone bioclimatiche, botaniche e pedologiche dell'Antartide.

Biomi (Bliss, 1979)	Zone Botaniche (Holdgate, 1970)	Zone Pedologiche (Tedrow, 1977)	Zone Pedologiche (Bockheim e Ugolini, 1990)
Polar desert (maritime)	Continental Antarctic (coastal)	Polar Desert	Antarctic Polar Desert
Polar Desert (continental)	Continental Antarctic (slopes)	Cold Desert	Antarctic Cold Desert

* Modificata da Bockheim e Ugolini (1990).

maniera diffusa nel suolo. L'origine dei sali dell'Antartide è stata molto discussa (Brocas e Delwiche, 1963; Jones e Faure, 1969; Keys e Williams, 1981). Apparentemente le fonti possono essere diverse: deposizione atmosferica, alterazione dei minerali o depositi marini fossili (Campbell e Claridge, 1987). Il tipo di sali presenti in un suolo antartico dipende dalla vicinanza del mare, dalle correnti atmosferiche, dalla natura della roccia madre e dalla storia geologica del sito. Mantenendo queste variabili più o meno costanti, è il regime idrotermico il responsabile della distribuzione dei sali nel suolo. Così, nella Penisola Antartica, dove le precipitazioni sono più abbondanti, i suoli ben drenati non contengono sali. Lungo le coste del continente i cloruri prevalgono, specialmente sotto le rocce piatte; nell'interno, in condizioni di estrema aridità, i nitrati sono più abbondanti e tendono addirittura a formare orizzonti distinti (Campbell e Claridge, 1987). L'accumulo dei sali nel suolo (salinizzazione) è anche funzione del tempo, come dimostrato da Ugolini e Bull (1965), Campbell e Claridge (1968) e Bockheim (1979).

La dissoluzione dei carbonati primari richiede un tenore di CO_2 che è presente solo dove l'attività biologica è alta. Carbonati

secondari (o pedogenetici) si trovano nella Penisola Antartica e nelle zone costiere del continente (Mac Namara, 1969; Everett, 1971) o dove esistono affioramenti di marmo (Keys e Williams, 1981). Nell'interno del continente i carbonati secondari non sono invece presenti.

Oltre alla salinizzazione un altro processo che influenza i suoli dell'Antartide è la rubefazione, cioè l'arrossamento diffuso della matrice dovuto all'ossidazione del ferro ferroso a ferro ferrico in condizioni aerobiche (Bockheim e Ugolini, 1990), già descritto nella Wright Valley da Ugolini e Bull (1965). Tuttavia, per il verificarsi della rubefazione è necessaria una disgregazione fisica delle rocce per esporre la superficie dei minerali. Importante, a questo riguardo, è stata l'azione frantumatrice dei ghiacciai durante le prime glaciazioni. Nella Terra della Regina Vittoria del Sud è stata riconosciuta una diretta relazione tra il colore delle rocce e quello dei suoli (Mac Crow, 1967). D'altra parte è innegabile che queste differenze cromatiche tendono ad attenuarsi con il tempo. L'alterazione dei minerali nel suolo avviene grazie alla presenza di un sottile strato di acqua che rimane liquido anche a temperature sotto zero (Ugolini e Anderson, 1972).

La riduzione delle dimensioni delle particelle, dovuta all'alterazione fisica, è un fenomeno in atto anche nei suoli Antartici; ciò è riscontrabile nei suoli più vecchi, dove la quantità di limo e di argilla è decisamente maggiore (Ugolini e Bull, 1965; Campbell e Claridge, 1967; Everett, 1971).

Le superfici terrigene del paesaggio antartico continentale sono ricoperte dal Desert Pavement. Comunemente la formazione di questo pavimento sassoso viene spiegata come il risultato dell'erosione eolica o del movimento ascendente dei clasti dovuto ai cicli di umettamento ed essiccazione. Nelle zone più continentali dell'Antartide, l'erosione eolica sembra essere la causa più probabile.

La povertà di "plant life" nel continente Antartico limita il contenuto di sostanza organica nei suoli. Infatti, solo dove è presente una copertura di muschi si ritrova del carbonio organico nel suolo (Ugolini, 1977): fino all'1.2% mentre in suoli analoghi privi di briofite si raggiunge lo 0.01%. Eccezioni a questa situazione sono i suoli occupati dalle colonie di pinguini, dove strati di 10-15 cm di guano si accumulano sul substrato minerale (Ugolini, 1972). Una volta che i pinguini se ne vanno si ha la riduzione dell'N e la trasformazione dell'acido urico in ossalati (Ugolini, 1972). Un caso di grande interesse è stato riportato recentemente da Blüme e Bölter (1993) sulla formazione di un Podzol a Casey Station, Wilkes Land, sotto l'influenza del guano dei pinguini.

I processi qui descritti, mediati dal clima, natura della roccia madre, topografia, organismi e tempo, hanno prodotto i suoli genetici citati nella Tabella 3.

Nell'Antartide sono stati riconosciuti i seguenti suoli (Fig. 9):

- Zona Costiera (58°-68° S): Red Ahumosols, Protorankers, Ornithogenic, Regosols, Lithosols (Mc Namara, 1969). A questi vanno aggiunto i Podzols e gli Histosols riconosciuti da Blüme e Bölter (1993) a Casey Station.

- Zona Continentale (68°-87° S): Ahumic,

Protorankers, Ornithogenic o Avian soils, Evaporite soils, Regosols e Lithosols (Tedrow e Ugolini, 1966).

Nella Zona Costiera i suoli hanno le seguenti sequenze di orizzonti:

- Red Ahumosols: D/A/Bw/BC/Cf
- Protorankers: Oi/C o Bw/Cf
- Ornithogenic: Oi/Oe/Oa/Cf
- Podzols: A/E/Bh/Bs/Bvs/Cv (Blüme e Bölter, 1993)
- Histosols: LH/H1/H2/H3/Cv (Blüme e Bölter, 1993)
- Suoli su Evaporiti: C1z/C2z/C3z
- Regosols: D/O/C1/C2/Cf; A/Cf
- Lithosols: Rf
- Leptosols: A/Rf (Blüme e Bölter, 1993)

Nella zona continentale:

- Ahumic (Cold Desert): D/Bz/Bw/BC/Cf (Ugolini e Bull, 1965)
- Protorankers, Ornithogenic, Regosols e Lithosols sono equivalenti a quelli delle zone costiere (Mc Namara, 1969).

Nella classificazione di Campbell e Claridge (1969, 1987) vengono identificati come Frigic i suoli zonali, azonali e intrazonali. Gli zonali sono classificati secondo l'umidità, il grado di sviluppo, la natura e provenienza della roccia madre. Gli intrazonali sono suddivisi in base alla presenza di sali e di costituenti organici e alle condizioni idrotermali. Gli azonali sono i suoli recenti.

Diversi autori (Tedrow e Ugolini, 1966; Campbell e Claridge, 1987; Bockheim e Ugolini, 1990) hanno considerato i Red Ahumosols e gli Ahumic come i suoli zonali per l'Antartide. I Red Ahumosols, come descritti da Mc Namara (1969), sono più sviluppati dei suoli del Deserto Freddo grazie al clima più moderato, maggiormente umido e con un periodo di disgelo più lungo. Inoltre la loro superficie mostra una copertura (1-2%) di muschi e licheni che favoriscono la formazione di un sottile orizzonte A. Gli orizzonti B vanno dal giallo-rossastro al rosso e mostrano processi di illuviazione di ferro e argilla, con formazione di cutans. La presenza di vescicole e di una struttura lamellare indicano

Tabella 3. Zone botaniche e pedologiche dell'Antartide con i relativi gruppi genetici di suoli.

Zone	Continental	Continental	Continental	
Botaniche:				
<i>Holdgate, 1970</i>	Antarctic (coastal)	Antarctic (slopes)	Antarctic*	
Zone	Antarctic Polar Desert	Antarctic Cold Desert	Antarctic Cold Desert	
Pedologiche:				
Regioni:	Enderby Land Wilkes Land Balleny Isl. Scott Isl.	Transantarctic Mts. Prince Charles Mts. Ford Range Ellsworth Mts.	Transantarctic Mts.	
Suoli:	Red Ahumosols Podzols Protorankers Ornithogenic Regosols Lithosols	Ahumic soils (zonal) Evaporitic soils Protorankers Ornithogenic Regosols Lithosols	Ultraxerous Xerous Subxerous Evaporitic soils Algal peat Avian soils Hydrothermal soils	suoli zionali suoli intra-zionali
Fonti:	<i>Blüme and Bölker 1993</i> <i>Mac Namara, 1969</i>	<i>Tedrow e Ugolini, 1966</i>	<i>Campbell e Claridge 1987</i>	

Modificato da *Bockheim e Ugolini, 1990*.

* L'intero continente, esclusa la Penisola Antartica

il susseguirsi di processi di gelo e disgelo. Il permagelo appare cementato dal ghiaccio (*ice-cemented permafrost*) e si trova mediamente a circa 60 cm (Mc Namara, 1969).

Un profilo modello di Ahumic per il Deserto Freddo (Fig. 9) appare costituito da un Desert Pavement di ciottoli più o meno erosi dal vento e più o meno ricoperti da "desert varnish" (vernice di ossidi). Manca del tutto una copertura vegetale e sono assenti anche licheni. Nei suoli

più antichi situati all'interno del continente, il grado di erosione eolica sui clasti aumenta, come pure la quantità di vernice del Deserto. Questi suoli, che possono risalire al Miocene (Campbell e Claridge, 1987), si sviluppano in estrema aridità, e mostrano sotto il pavimento del Deserto un orizzonte biancastro, costituito da sali solubili precipitati (nitrati e solfati). Questo orizzonte è seguito da uno o più orizzonti Bw, caratterizzati da un colore giallo-brunastro

Tabella 4. Correlazione tassonomica al livello di gruppi genetici e sottogruppi secondo tre sistemi di classificazione per alcuni suoli polar

Artide Arctic System (<i>Tedrow, 1977</i>)	USDA System (<i>Soil Survey Staff, 1996</i>)	Canadian System (<i>Can. Soil Survey Comm. 1978</i>)
Polar Desert	Pergelic Cryorthent	Regosolic Static or Turbic Cryosol
Polar Desert-Tundra interjaccence	Pergelic Cryaquept	Gleysolic Static (Turbic) Cryosol
Arctic Regosol	Pergelic Cryopsamment, Pergelic Cryorthent	Regosolic Static (Turbic) Cryosol
Arctic Lithosol	Lithic Cryorthent, Lithic Cryopsamment	
Arctic Rendzina	Pergelic Cryoboroll, Pergelic Cryorendoll	Orthic Static Cryosol, Orthic Static Cryorendoll
Arctic Podzols	Pergelic Cryorthod, Cryo- chrept or Cryopsamment	Non Previsto
Arctic Brown	Pergelic Cryochrept, Cryoumbrept o Cryoboroll	Brunisolic Static (Turbic) Cryosol Orthic Static Cryosol
Upland Tundra	Pergelic Cryaquept	Gleysolic Static Cryosol
Meadow Tundra	Pergelic Cryaquept, Pergelic Ruptic-Histic Cryaquept	Gleysolic Static or Turbic Cryosol
Half bog	Histic Pergelic Cryaquept	Gleysolic Static (Turbic) Cryosol
Bog	Pergelic Cryofibrist	Fibric Organo Cryosol
Antartide Gruppi Genetici (<i>Te- drow and Ugolini, 1966</i>)	USDA System (<i>Soil Survey Staff, 1996</i>)	Canadian System (<i>Can. Soil Survey Comm., 1978</i>)
Ahumic	non previsto	non previsto
Evaporitic	non previsto	non previsto
Protoranker	non previsto	non previsto
Ornithogenic	non previsto	non previsto
Regosol	Pergelic Cryorthent, Pergelic Cryopsamment	Regosolic (Turbic) Static Cryosol
Lithosol	Lithic Cryorthent, Lithic Cryopsamment	non previsto
Red Ahumosol (<i>McNamara, 1969</i>)	non previsto	non previsto

o giallo-oliva e da un elevato contenuto di sassi in una matrice limosa e sciolta. In altri casi, dove il sale è disperso nella matrice e non forma un orizzonte separato, la consistenza del suolo aumenta.

Sulle morene di 1-2 milioni di anni il permagelo non è consolidato (dato che il ghiaccio si sublima per la continua ed estrema aridità) e la sua presenza si deduce solo dalla temperatura. I Brown Ahumosols o Ahumic che si formano sulle morene più recenti (circa 20.000 anni) mostrano un profilo simile ai suoli più antichi, ma sono meno colorati, più grossolani ed il permafrost è cementato dal ghiaccio.

SOMMARIO E CONCLUSIONI

I suoli polari si formano in condizioni climatiche avverse, tuttavia quelli dell'Artide, grazie alla configurazione geografica dell'emisfero nord, sono esposti a temperature più moderate e a un regime più umido di quelli dell'Antartide.

I suoli della Tundra sono dominati dall'idromorfismo a causa della presenza del permagelo contenente ghiaccio interstiziale; infatti, la presenza della falda gelata impedisce il drenaggio delle acque durante il disgelo. Conseguenza dell'idromorfismo e delle basse temperature è l'accumulo di materia organica poco decomposta alla superficie del suolo. Dove il paesaggio è anche solo leggermente concavo i terreni organici e torbosi sono comuni (Tedrow et al., 1958). La presenza del permagelo e le basse temperature invernali provocano la formazione del "patterned ground". Nell'Artide le zone costiere dell'Alaska sono molto più umide di quelle della Siberia, tuttavia l'idromorfismo è comune anche nel continente asiatico. Solo una bassa percentuale dei suoli della Tundra sono ben drenati grazie alla loro tessitura e posizione. Secondo Tedrow (1977) questi suoli brunificati rappresenterebbero i suoli zonali. La podzolizzazione, come processo in atto, in Alaska si spinge fino a 69° N. (Ugolini

et al., 1987); podzols sono stati però rinvenuti da Jakobsen (1992) a 74° N, in Groenlandia nord-orientale, e fino a 77° N, a Hornsund, nello Spitzbergen occidentale.

L'isoterma di 4 °C per il mese più caldo, luglio, delinea il confine meridionale del Deserto Polare, la regione desolata a nord della Tundra, in cui vigono temperature estremamente basse, precipitazioni limitate e una brevissima stagione libera da neve. Nel Deserto Polare i processi pedogenetici sono deboli, limitati alla dissoluzione e riprecipitazione dei carbonati, alla formazione di silt caps e alla rubefazione. Tuttavia l'alterazione dei minerali procede anche a basse temperature e umidità, come dimostrato dalla formazione in situ di alcuni minerali secondari. Tali processi avvengono con una bassa partecipazione della vegetazione, la quale occupa meno del 5% della superficie. Quando la falda gelata è vicina alla superficie, i processi criogenici tendono a prevalere su quelli pedogenetici. I suoli del Deserto Polare appartengono agli Inceptisols ed agli Entisols della U.S. Soil Taxonomy (1996) o ai Gelisols del Canadian Classification System (1978).

Nell'Antartide la formazione del suolo oltre che dalle basse temperature dalla povertà d'acqua è condizionata dalla scarsità di zone libere da ghiaccio. Scarsa è l'influenza del fattore biotico sui processi pedogenetici, essendo questo rappresentato solo da piccoli cuscinetti o tappeti di muschi, oppure da uno strato di guano sulla superficie del suolo nelle colonie di pinguini. Le condizioni climatiche peggiorano decisamente spostandosi dalla costa verso l'interno, di conseguenza i suoli più sviluppati, Red Humosols e Podzols, si trovano nella zona costiera del continente. Nella zona continentale gli Ahumici, considerati suoli zonali, possono essere distinti sulla base del contenuto d'umidità. I suoli più aridi presentano degli orizzonti salini mentre in quelli meno aridi i sali solubili sono dispersi nel profilo. I carbonati secondari sono presenti solo nella Penisola Antartica o sui substrati marmorei. I processi pedogenetici che operano in Antartide sono del tipo desertico con

un regime idrico "subpercolativo", eccetto lungo le coste dove si ha illuviazione di limo o migrazione di Fe e Al, con formazione di Podzols.

RINGRAZIAMENTI

L'autore intende ringraziare tutti coloro che, allora studenti adesso docenti o professionisti, dal 1959 fino al 1995 parteciparono con lui alle campagne artiche e antartiche. Inoltre la National Science Foundation (USA), che ha messo a disposizione i fondi e i mezzi logistici per condurre le ricerche.

Sono in debito con il Dr. G. Certini e con il Dr. A. Agnelli per l'aiuto datomi nel redigere la versione italiana e per aver messo a punto la copia finale del lavoro.

LETTERATURA CITATA

- ANDERSON, J.D. 1965. Bedrock geology of Antarctica: a summary of exploration 1831-1962. *In* Geology and Palaeontology of Antarctica. J.B. Hadley Ed. Am. Geo. Union Arct. Res. Ser. 6, 1-70.
- BLISS, L.C. 1977. General Summary, Truelove Lowland ecosystem. *In* Truelove Lowland, Devon Island, Canada: A High Arctic Ecosystem. L.C. Bliss Ed. pp. 657-675. Univ. of Alberta Press, Edmonton.
- BLISS, L.C. 1978. Vegetation and revegetation within permafrost terrain. Third Int. Conf. Permafrost. 2, 31-50. National Rese. Counc. Canada, Ottawa.
- BLISS, L.C. 1979. Vascular plant vegetation of the Southern Circumpolar Region in relation to Antarctic, Alpine and Arctic vegetation. *Can. J. of Botany* 57 : 2167-2178.
- BLISS, L.C. 1990. Arctic Ecosystems: Patterns of Change in Response to Disturbance. *In* The Earth in Transition; Patterns and Processes of Biotic Improvement. G.M. Woodwell Ed. pp. 347-366. Cambridge Univ. Press.
- BLÜME, H. P. e BÖLTER, M. 1993. Soils of Casey Station (Wilkes Land, Antarctica). *Proceedings 1st Intern. Conf. Cryopedology*. Russian Academy of Science, Pushchino. pp. 96-103.
- BOCKHEIM, J.G. 1979. Relative age and origin of soils in eastern Wright Valley, Antarctica. *Soil. Sci.* 128 : 142-152.
- BOCKHEIM, J.G. e UGOLINI, F.C. 1990. A review of pedogenic zonation in well-drained soils of the Southern circumpolar region. *Quat. Res.* 34, 47-66.
- BROCAS, J. e DELWICHE, R. 1963. Cl, K, and Na concentrations in Antarctic snow and ice. *J. Geophys. Res.* 18, 3999-4000.
- BROWN, J. e TEDROW, J.C.F. 1964. Soils of the Brooks Range, Alaska: 4. Well drained soils of the glaciated valleys. *Soil. Sci.* 97, 187-195.
- BROWN, R.J.E. 1968. Occurrence of permafrost in Canadian peatland. *International Peat Congr., 3rd. Quebec* 18-23 Aug. 1968 Proc., 174-181.
- CAMERON, R.E., LACY, G.H., MORELLI, F.H. e MARSH, J. B. 1971. Farthest South microbial and ecological investigations. *Antarctic J.U.S.* 6, 105-106.
- CAMPBELL, I.B. and CLARIDGE, G.G.C. 1987. Antarctica: soils, weathering processes and environment. Elsevier, Amsterdam. 368 pp.
- CAMPBELL, I.B. e CLARIDGE, G.G.C. 1967. Site and soil differences in the Brown Hills region of the Darwin Glacier, Antarctica. *N.Z.J.Sci.* 10, 563-577.
- CAMPBELL, I.B. e CLARIDGE, G.G.C. 1968. Soils in the vicinity of Edisto Inlet. Victoria Land, Antarctica. *N.Z.J.Sci.* 11, 498-520.
- CAMPBELL, I.B. e CLARIDGE, G.G.C. 1969. A classification of frigid soils - the zonal soils of Antarctica Continent. *Soil. Sci.* 107, 75-85.
- CANADIAN SOIL SURVEY COMMITTEE, SUB-COMMITTEE ON SOIL CLASSIFICATION. 1978. "The Canadian System of Soil Classification." Can. Dept.

- Agr. Pub. 1646 Supply and Services, Canada Ottawa.
- CHERNOV, Y.I. e MATVEYEVA, N.V. 1979. The zonal distribution of communities on Taimyr (in Russian). *In* Arctic Tundra and Polar Deserts of Taimyr. Aleksandrova, V.D. and Matveyeva, N.V. Eds. pp. 166-200, Nauka, Leningrad.
- DOUGLAS, L.A. e TEDROW, J.C.F. 1959. Organic matter decomposition rates in arctic soils. *Soil Sci.* 88, 305-312.
- DOUGLAS, L.A. e TEDROW, J.C.F. 1960. Tundra soils of arctic Alaska. *Proc. 7th Int. Congr. Soil Sci. (Madison Wisc.) Vol. 4. Comm. V*, 291-304.
- DOUMANI, G. e LONG, W. 1962. The Ancient Life of the Antarctic. *Scientific American*, 207, 169-184.
- EVERETT, K.R. 1971. Soils of the Meserve Glacier Area, Wright Valley, Southern Victoria Land, Antarctica. *Soil Sci.* 112, 425-438.
- EVERETT, K.R. e PARKINSON, R.J. 1977. Soil and landform associations, Prudhoe Bay area, Alaska. *Arct. Alp. Res.* 9, 1-19.
- HOLDGATE, M. W. 1970. Vegetation. *In*: M. W. Holdgate, Ed. *Antarctic Ecology*, Academic Press., London, vol. 2, pp. 729-732.
- IGNATENKO, I.V. 1971. Soils of the Kara River basin and their zonal position. *Sov. Soil Sci.* 3, 15-28.
- JAKOBSEN B.H. 1992. Preliminary studies of soils in north-east Greenland between 74° and 75° northern latitude. *Geografisk Tidsskrift*. 92, 111-115.
- JONES, L.M. e FAURE, G. 1969. The isotope composition of strontium and cationic composition of Lake Vanda, and Lake Bonney in Southern Victoria Land. *Ohio Univ. Report 4*. 82 pp.
- KEYS, J.R., WILLIAMS, K. 1981. Origin of crystalline, cold desert salt in the McMurdo Region, Antarctica. *Geochem. Cosmochim. Acta* 45, 2299-2304.
- LLANO, G.A. 1962. The terrestrial life of the Antarctic. *Scientific American* 207, 212-230.
- MAC NAMARA, E.E. 1969. Active layer development and soil moisture dynamics in Enderby Land, East Antarctica. *Soil Sci.* 105, 345-349.
- MARKOV, K.K. 1956. Some facts concerning periglacial phenomena in Antarctica (in Russian). *Vest. Mosk. Univ. (Geograf.)* 1, 139-148.
- MCCROW, J.D. 1967. Some surface features of McMurdo Sound Region, Victoria Land, Antarctica. *N.Z.J. Geol. Geophys.* 10, 394-417.
- MULLER, S.W. 1947. Permafrost or permanently frozen ground and related engineering problems. J.W. Edwards, Mich., Ann Arbor, USA.
- PICKARD, J. 1986. Antarctic oases, Davis Station and the Vestfald Hills. *In*: Antarctic oases. Pickard J. Ed. Academic Press. Sidney, pp 1-19.
- RIEGER, S. 1983. The genesis and classification of cold soils. Academic Press, New York, 230 pp.
- SOIL SURVEY STAFF 1996. Keys to Soil Taxonomy. 7th ed. U.S.D.A., N.R.C.S., U.S. Govt. Printing Office, Washington, D.C., USA, 644 pp.
- TARGULIAN, V. 1959. The first stage of weathering and soil formation on igneous rocks in the tundra and taiga zones. *Soviet Soil Sci.* 11, 1287-1296.
- TEDROW, J.C.F. 1966. Polar Desert Soils. *Soil Sci. Amer. Proc.* 30, 381-387.
- TEDROW, J.C.F. 1972. Soil morphology as an indicator of climatic changes in arctic areas. *In* Climatic Changes in Arctic Areas during the last Ten Thousand Years. Vasari, Y., Hyvarinen, H. and Hicks, S. Eds. Acta Univ. Oulensis, Ser. A. No 3 Geol. 1, 61-76.
- TEDROW, J.C.F. 1977. Soils of the Polar Land. Saps. Rutgers Univ. Press 638 pp.
- TEDROW, J.C.F. e BROWN, J. 1962. Soils of the Northern Brades Range, Alaska, weakening of the soil forming potential at high altitudes. *Soil Sci.* 93, 254-261.

- TEDROW, J.C.F. e CANTLON, J.E. 1958. Concepts of soil formation and classification in arctic regions. *Arctic* 11, 166-179.
- TEDROW, J.C.F. e UGOLINI, F.C. 1966. Antarctic soils. *In* Antarctic soils and soil-forming processes. Tedrow, J.C.F. Ed. Amer. Geophysic Union Antarctic Res. Ser. 8, 161-177
- TEDROW, J.C.F. *et al.* 1958. Major genetics soils of the Arctic Slope of Alaska. *J. Soil Sci.* 9, 33-45.
- TYRTIKOV, A.P. 1959. Principles of Geocryology. Pt. 1 General Geocryology. Soviet Acad. Sci. (Moscow) Chap. 12, pp. 399-421. (Nat. Res. Com. of Canada trans., TT-1163).
- UGOLINI F.C., CORTI G. e CERTINI, G. (1997). I processi pedogenetici e criogenici nel deserto polare, Devon Island, N.W.T., Canada. *Atti XIV Convegno Nazionale Società Italiana Chimica Agraria*. Rimini, 25-27 Settembre 1996, Italia (in stampa).
- UGOLINI F.C., STONER M.G. e MARRETT D.J. 1987. Arctic pedogenesis: 1. Evidence for contemporary podzolization. *Soil Sci.* 144, 90-100.
- UGOLINI, F.C. 1972. Ornithogenic soils of Antarctica. *In* Antarctic Terrestrial Biology. Llano, G. Ed. Am. Geophys. Union, Ant. Res. Ser. 20, 181-193.
- UGOLINI, F.C. 1977. The protoranker soils and the evolution of an ecosystem at Kar Plateau. *In* Adaptations within antarctic ecosystems. Llano, G. Ed. Smithsonian Inst. Washington, 1091-1110.
- UGOLINI, F.C. 1986. Pedogenetic zonation in well drained soils of the arctic regions. *Quat. Res.* 26, 100-120.
- UGOLINI, F.C. e ANDERSON, D.M. 1972. Ionic migration and weathering in frozen antarctic soils. *Soil Sci.* 115, 461-470.
- UGOLINI, F.C. e BULL, C. 1965. Soil development and glacial events in Antarctica. *Quaternaria*, 7, 251-269.
- UGOLINI, F.C. e TEDROW, J.C.F. 1963. Soils of the Brooks Range, Alaska: 3. Rendzina of the Arctica. *Soil Sci.* 96, 121-127.
- WASHBURN, A. L. 1956. Classification of patterned ground and review of suggested origins. *Geol. Soc. Amer. Bull.* 67, 823-865.

EL CONOCIMIENTO DEL SUELO COMO PRINCIPIO BASICO DE LA GESTION DE SUELOS CONTAMINADOS

ROSA CALVO DE ANTA

Dpto. de Edafología. Fac. de biología. Univ. de Santiago

ANTECEDENTES

Aunque la contaminación del ambiente por actividades humanas ha comenzado con la propia historia del hombre es a partir de la revolución industrial, hace aproximadamente 200 años, cuando se produce una fuerte intensificación de este fenómeno, al crearse un gran número de compuestos sintéticos, muchos de ellos de gran estabilidad, y provocarse cambios en los ciclos superficiales de algunos elementos. Utilizando los registros sedimentarios de diferentes partes del mundo se puede reconocer, p.e, un incremento muy fuerte de la contaminación por metales pesados e hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAHs) en las últimas décadas del siglo XIX, fundamentalmente debido a la combustión de carbón para producción de energía. El máximo es alcanzado hacia 1960-70, observándose posteriormente un descenso paulatino de estos compuestos a la vez que un aumento de productos derivados del petróleo. Los hidrocarburos halogenados comenzaron a manifestarse desde 1935-40 intensificando su presencia a partir de la segunda guerra mundial. Los radioisótopos aparecen a partir de 1952, aumentando hasta 1963 y descendiendo posteriormente..., (Müller, 1981).

La obtención de energía en sentido amplio (incluyendo vehículos, calefacciones...) es, qui-

zás, la causa más generalizada de contaminación. En tan solo 20 años, entre 1970 y 1990, el consumo mundial de energía, carbón o fuel, tuvo un incremento próximo al 55% (Allen, 1992). Los impactos más llamativos se relacionan con la combustión de carbones ricos en azufre, con las consiguientes emisiones de SO₂ a la atmósfera, donde más del 50% del S existente es de procedencia antrópica (Stocker y Seager, 1981). Los importantes daños que provocaron las lluvias ácidas sobre bosques y peces en diferentes partes del hemisferio norte generaron una fuerte alarma social y llevaron a las primeras medidas políticas de gestión ambiental, enfocadas a la protección del aire y del agua. En 1972, las Naciones Unidas organizan la primera Conferencia Internacional sobre el Ambiente, en Estocolmo, y elaboran un Programa Ambiental (UNEP). En USA, la Agencia de Protección Ambiental (EPA) define las Sustancias Peligrosas bajo el Acta "Resource, Recovery and Conservation" de 1976 y su enmienda sobre Residuos Sólidos Peligrosos, de 1984 (Manahan, 1991-1994). En la Comunidad Europea se elaboran las listas I (negra) y II (gris) de Sustancias Peligrosas (Directivas EC, 1976, 1981). En general, los criterios adoptados para la elaboración de las listas son: producción del contaminante (en cantidad y distribución geográfica), así como su toxicidad, movilidad y persistencia en el ambiente.

El interés por el suelo, en sentido específico, es bastante posterior al del aire y agua y aún hoy es muy incompleto desde el punto de vista normativo. Antes de 1970 el suelo era considerado en las esferas políticas como un sistema con una capacidad de depuración casi infinita, debido a la escasa o nula percepción sensorial de sus cambios en comparación a los del aire y agua. En 1972, el Consejo de Europa reconoce en la *Carta Europea de Suelos* la necesidad de la protección de este "recurso no renovable". No obstante, hasta hace unos 10 años, este sistema ha sido considerado sólo de forma indirecta a través de las políticas de protección del aire y agua o de gestión de residuos (Directivas sobre residuos, 75/442/EEC; disposición de aceites residuales, 75/439/EEC; Residuos Tóxicos y Peligrosos, 78/319/EEC; protección de aguas freáticas, 80/68/EEC; establecimiento de los efectos de ciertos proyectos públicos y privados sobre el ambiente, 85/337/EEC;...). En 1986 se emite la primera y única reglamentación europea específica para suelos, la Directiva 86/278/EEC, sobre aplicación de lodos en terrenos agrícolas. Al margen de ésta, y de algunas iniciativas de determinados países miembros, aún no existe en el ámbito europeo una regulación sobre la protección del suelo.

En el 4º Programa de Acción Ambiental (1987-1992) (OJC328, 7.12.1987, UE) se reconoce la necesidad de una reglamentación referida a la protección del suelo y se insta a los países miembros a elaborar procedimientos legislativos que promuevan dicha protección, especificándose la conveniencia de llevarla a cabo a través de una aproximación global, es decir, de una coordinación de las distintas políticas sectoriales que puedan influir en la "calidad del suelo". Los objetivos, tal y como se recogen en las *Bases Científicas para la Protección del Suelo en la Comunidad Europea*, son "procurar salvaguardar las propiedades y condiciones que aseguren el cumplimiento de las funciones del suelo...", considerándose como principales funciones: el crecimiento vegetal, la producción de alimentos, la filtración del

agua y la participación del suelo de forma activa en los ciclos biogeoquímicos de los elementos (Barth y L'Hermite, 1987).

En el 5º Plan Ambiental (vigente desde 1993), se establece la necesidad de la prevención y minimización de la generación de residuos, así como de su reciclaje y tratamiento *in situ*.

Distintos países miembros de la Unión Europea han elaborado programas y estrategias de protección del suelo, como la República Federal de Alemania (1985), Francia (1986), Holanda (1987), Reino Unido (1987), Suiza (1987)... En general, la política europea se orienta básicamente hacia las estrategias de prevención dirigidas a las fuentes, es decir, hacia la contaminación de tipo local, como industrias, vertederos, áreas de almacenamiento, etc., incentivándose el desarrollo de tecnologías que mitiguen las emisiones a los suelos y aguas freáticas, generalmente mediante el aislamiento y control. Así, por ejemplo, en Holanda, las medidas de prevención se definen como *Estrategia de Aislamiento, Control y Monitorización* (ICM) (de Haan, 1996).

Para la contaminación difusa las estrategias de aislamiento y control no son adecuadas, por lo que la prevención se enfoca hacia la reglamentación de "emisiones aceptables" que permitan mantener la *calidad del suelo*, es decir el cumplimiento de sus funciones.

Para la diagnóstico y caracterización de la contaminación han sido elaboradas diferentes "guías" o niveles de referencia, como los valores ICRCL del Reino Unido (1987), los propuestos por la EPA (1988), los niveles ABC de Holanda (VROM, 1991) o los más elaborados, establecidos en este país (para metales pesados, As y F) a partir de los valores de fondo en áreas rurales (relativamente) no contaminadas sobre diferentes materiales litológicos (Ewers, 1991). Un inventario similar se ha realizado, para metales pesados, en suelos sobre diferentes tipos de materiales precámbricos y paleozoicos de Galicia (Tabla 1).

Si los valores guía no están perfectamente establecidos, la definición de los valores de

Tabla 1. Variación del contenido de metales pesados en suelos sobre distintos materiales geológicos (horizontes superficiales de suelos forestales "no contaminados" de Galicia) (mediana e intervalos de variación, en mg/kg) (Calvo et al., 1996), niveles ABC de Holanda (Ewers, 1991) y límites para la adición de lodos en suelos agrícolas (R.D. 1990).

----- Suelos forestales de Galicia -----						R.D. Lodos (pH<7-pH>7)			
	Granitos Pizarras	Esquistos Anfibolitas	Gabros Serpentinitas	A	B	C			
Cu	12 (1-75)	23 (8-64)	26 (3-89)	35 (5-150)	39 (8-73)	541 (5-2778)	15+0.6(L+H)	100 500	50-1000
Zn	44 (5-133)	37 (11-63)	58 (22-132)	61 (21-129)	83 (36-159)	-	50+1.5(2L+H)	500 3000	150-2500
Ni	27 (10-157)	30 (12-55)	40 (7-150)	60 (10-135)	55 (26-100)	1988 (865-2989)	10+L	100 500	30-300
Pb	52 (10-490)	53 (30-75)	45 (15-565)	40 (20-100)	30 (15-70)	-	50+L+H	150 600	50-750
Cr	25 (3-312)	51 (7-84)	55 (8-294)	121 (17-310)	135 (50-270)	6196 (547-31815)	50+2L	250 800	100-1000
Co	30 (10-60)	29 (15-45)	35 (8-105)	43 (25-80)	58 (30-75)	-	20	50 300	
Mn	155 (100-920)	197 (105-480)	535 (105-2325)	725 (100-1705)	1083 (400-1435)	-	-	-	-
Hg	-	-	-	-	-	-	0.2+0.0017(2L+H)	2 10	1-16
Cd	-	-	-	-	-	-	0.4+0.007(L+3H)	5 20	1-20

"intervención" está todavía mucho más lejos de poder alcanzarse. En la propuesta holandesa estos umbrales se establecen a partir de experimentos ecotoxicológicos sobre diferentes especies o procesos microbianos (Vegter, 1996). Las experiencias son muy útiles y orientativas, pero no permiten la propuesta directa de estándares de "calidad del suelo", dado que se refieren a una función concreta de un determinado suelo frente a un tóxico específico (p.e. establecimiento de índices de toxicidad respecto al crecimiento de plantas en suelos con Cu, Lexmon, 1980). Dado que el suelo tiene distintas funciones, una evaluación cuantitativa de su calidad exigiría considerar un amplio número de criterios, que no son de aplicabilidad general. Se necesitaría una información completa de todos los contaminantes, de todos sus procesos posibles en todos los suelos (y combinación de propiedades) y de todas sus relaciones dosis-efecto. En el estado

actual de conocimientos es imposible una evaluación cuantitativa generalizada de la calidad del suelo y, sobre todo, el establecimiento de parámetros que garanticen su mantenimiento a largo plazo (de Haan et al., 1989).

En España, las medidas adoptadas a este respecto son muy escasas. En los últimos 20 años se han dictado una serie de leyes generales, como la Ley de Minas (1973), Gestión de RSU (Ley 42/1975), Reglamento de Actividades Tóxicas, Nocivas y Peligrosas (Decreto 2414/61), Ley de Restauración de Suelos de Minas (1982)...etc. En 1986 se elabora la Ley Básica de Residuos Tóxicos y Peligrosos y en 1989 se aprueba el Plan Nacional de Residuos Industriales, cuyo 6º Programa trata del Control y Recuperación de Zonas Afectadas por Vertidos de Residuos Tóxicos y Peligrosos. En 1991 se realiza el Inventario Nacional de Espacios Contaminados y en 1995 se aprueba el Plan Nacio-

nal de Recuperación de Suelos Contaminados, a partir del cual se proponen actuaciones concretas para la elaboración de programas de recuperación de determinados emplazamientos de contaminación industrial. La recuperación de estas áreas no ha sido acometida.

El establecimiento de una reglamentación para la protección del suelo, bien comunitaria, bien de España, como país miembro, es urgente. Tal reglamentación deberá ser lo suficientemente sencilla como para hacerla aplicable y lo suficientemente amplia como para que pueda ser adaptable a las diferentes condiciones y ambientes, lo que requiere tomar en consideración lo esencial de los conocimientos disponibles en cada momento.

EL SUELO FRENTE A LOS CONTAMINANTES

El grado de contaminación de un suelo no puede ser estimado exclusivamente a partir de los valores totales de los contaminantes frente a determinados valores guía. Se hace necesario considerar su *biodisponibilidad* (posibilidad de causar algún efecto, positivo o negativo, sobre un organismo), *movilidad* (o transporte a otros sistemas) y *persistencia*.

Cuando un contaminante entra en el suelo puede ser neutralizado, degradado (biótica o abióticamente), adsorbido por procesos de adsorción específica o cambio iónico, complejoado o precipitado. La salida del sistema puede ser por volatilización, extracción por las cosechas, drenaje o procesos de erosión. Como resultado final se produce la retención o movilización de sustancias, de manera que el suelo actúa como sumidero o como fuente, influyendo sobre la calidad de las disoluciones acuosas que alcanzan las aguas superficiales y la capa freática y afectando, en mayor o menor medida, a los organismos vegetales y animales.

Las vías de evolución dependen de la naturaleza de los constituyentes activos, distribución y volumen de poros, composición química

de las fases fluidas y de las partículas coloidales, actividad de los organismos..., junto a parámetros físico-químicos tales como pH, potencial redox, fuerza iónica, temperatura,... Esta complejidad dificulta el establecimiento preciso del comportamiento del suelo frente a los contaminantes, sobre todo teniendo en cuenta su gran variedad, la continua producción de nuevas y complejas sustancias y las diferentes interacciones posibles, sinérgicas o antagónicas, en cada sistema y a lo largo del tiempo.

Una rápida revisión de algunos de los principales procesos permite obtener una idea de tal variabilidad y complejidad.

Capacidad de neutralización de ácidos (CNA)

Uno de los ejemplos más llamativos de la importancia de la contaminación del suelo es la deposición atmosférica ácida. El fuerte descenso de las poblaciones de salmónidos en ríos de Escandinavia y otros países de Europa, a principios de los 70, y que, paradójicamente, condujo a la elaboración de políticas orientadas a la protección de Aguas y Aire, fué debida básicamente al incremento de Al disuelto en las aguas como consecuencia del descenso de pH en suelos mal amortiguados. Algo similar puede decirse respecto a los procesos degradativos (muerte, defoliación, decoloración...) en bosques de coníferas de estas zonas (Ulrich et al., 1979).

Frente a la deposición ácida, como frente a otros contaminantes, la variabilidad del suelo se pone claramente de manifiesto. Tal diversidad es fácilmente reconocible si se considera, simplemente, el potencial acidificante de diferentes ácidos naturales (débiles), como el CO₂ o los ácidos orgánicos. En los suelos de zonas áridas, enriquecidos en silicatos, carbonatos o sulfatos de Na, Mg y Ca, la liberación de protones por estos compuestos es muy importante debido a su fuerte ionización a pH superior a 8.0, y lo mismo sucede en medios calcáreos e, incluso, en ambientes neutros o debilmente ácidos, mientras que su fuerza ácida es prácticamente

Procesos de precipitación/disolución

La concentración de un contaminante en disolución puede ser controlada por la formación de precipitados sólidos. Por lo mismo, un contaminante en forma sólida podría sufrir un proceso de disolución en medios en los que no se alcancen condiciones de saturación para dicho compuesto. Los posibles procesos de precipitación/disolución de contaminantes muestran, como los anteriores, una fuerte dependencia de los parámetros físicos y químicos de cada ambiente edáfico.

Considerando condiciones de equilibrio y utilizando valores de constantes de solubilidad se puede establecer la estabilidad o inestabilidad termodinámica de diferentes compuestos bajo unas determinadas condiciones (Garrels y Christ, 1965; Lindsay, 1979...). La aplicación de modelos de equilibrio permite una rápida y sencilla diagnosis, tanto para el cálculo de especies de elementos en disolución como para la predicción de la formación de posibles fases sólidas. Pueden citarse entre los modelos predictivos más utilizados MINEQL (Westall et al, 1976), GEOCHEM (Mattigod y Sposito, 1979), MINTEQA2 (Allison et al., 1990)... etc.

De todas formas, la utilización de modelos

de equilibrio no está exenta de problemas. Por una parte, el propio concepto de equilibrio aplicado a suelos es discutible en algunos casos, sobre todo cuando se usa para realizar predicciones sin datos experimentales o sin una justificación explícita de las consideraciones establecidas, siendo recomendable en muchas ocasiones restringir su uso al cálculo de los equilibrios entre las especies en disolución.

Por otra parte, las reacciones de precipitación/disolución están sujetas a limitaciones cinéticas, por lo que es posible que se formen compuestos termodinámicamente inestables (metaestables), que permanecen en el medio durante largos periodos de tiempo, mientras que la fase considerada estable se encuentra en proporciones muy pequeñas, o no se forma. Por ello, la actividad de un elemento puede estar influenciada por la disolución muy lenta de un compuesto... o la precipitación muy lenta de otro. En muchas ocasiones, y sobre todo en ambientes contaminados, distintas fases sólidas pueden controlar la concentración de un elemento en la disolución, es decir, existir varios procesos y cinéticas de equilibrio. El conocimiento de la cinética de los procesos edáficos, aplicable a las condiciones de campo, es actualmente uno de los temas de mayor interés para la correcta interpretación de la respuesta del suelo

Tabla 3. Algunos modelos estacionarios y dinámicos para la predicción de riesgos de acidificación.

Receptor	Aguas superficiales	Bosques	Aguas freáticas
Nivel I (estacionarios)	Datos empíricos Balance Masa Modelo Henriksen PROFILE	Balance Masas MACAL PROFILE	PROFILE
Nivel II (dinámicos)	MAGIC RAINS/SMART SAFE ILWAS	MAGIC RAINS/SMART SAFE ILWAS RESAM	SAFE MAGIC

frente a los impactos contaminantes. Una revisión es recogida por Sparks y Suarez (1991).

En la práctica otros aspectos dificultan la interpretación. Entre ellos, la posible influencia de los fenómenos de adsorción sobre los equilibrios disolución/precipitación. En el caso de los metales, a bajas concentraciones predominan los equilibrios de adsorción frente a los de precipitación, que ejercen el control de la disolución a concentraciones elevadas de contaminantes (McBride, 1980). Las reacciones de complejación pueden interferir también en los equilibrios sólido/disolución, tendiendo al incremento de una u otra fase según la solubilidad del ligando presente (Alberts y Giesy, 1983). Por último, cabe señalar la variabilidad de posibilidades derivadas de las diferentes condiciones Eh-pH de los suelos, dada la influencia directa de estos parámetros sobre los procesos de disolución/precipitación.

Un estudio realizado en Galicia en suelos contaminados por actividades mineras de extracción de Cu permite ilustrar algunos de los aspectos señalados. El contenido total de Cu oscila entre 500 y 2325 mg/kg, es decir de 50 a 400 veces el nivel de fondo obtenido en un suelo seleccionado como referencia (tabla 4). La concentración de sulfatos en la disolución del suelo varía entre 10^{-2} y 10^{-3} M y el pH entre 3.0 y 5.0. Aplicando directamente modelos de equilibrio disolución-precipitación, a partir de constantes características de minerales de tipo oxisulfato, la concentración de Cu en la disolución debería oscilar entre 10^{-3} y 1 M. Si se considera el efecto complejante de la materia orgánica y se toman los valores de la solubilidad del "Cu-suelo" dados por Lindsay (1979) las concentraciones variarían entre 10^{-3} y 10^{-7} M, descendiendo muy fuertemente con el pH. Sin embargo, la pendiente de la ecuación obtenida a partir de datos empíricos no se ajusta al modelo definido por este autor (Fig.2), lo que implica que otros procesos edáficos, además de la formación de complejos organometálicos, como los procesos de cambio iónico y la precipitación(co)/adsorción superficial sobre formas no cristali-

nas, ejercen conjuntamente un control del equilibrio en la disolución (Tabla 4).

Procesos de adsorción/desorción

Dado que los suelos presentan coloides cargados, negativa o positivamente, permanente o pH dependiente, y teniendo en cuenta la elevada superficie específica de tales coloides, el porvenir de los contaminantes iónicos en el suelo puede ser muy diferente según el contenido y naturaleza de estos constituyentes y los parámetros físico-químicos que influyen sobre ellos. Metales y metaloides, aniones inorgánicos y ciertas moléculas orgánicas (herbicidas catiónicos, como paraquat y diquat, o aniónicos como 2,4 D o 2,4,5 T), pueden ser adsorbidos sobre coloides orgánicos e inorgánicos, como compuestos húmicos, aluminosilicatos cristalinos y amorfos, carbonatos y óxihidróxidos de Al, Fe y Mn. Así mismo, las superficies bacterianas pueden funcionar muy eficazmente en la retención de cationes debido a su abundancia y ubicuidad, así como a su elevada superficie específica, de carácter aniónico (Beveridge et al., 1995). Muchos contaminantes orgánicos no iónicos, como hidrocarburos clorados poco volátiles y plaguicidas, pueden ser adsorbidos sobre polímeros húmicos por mecanismos tanto físicos como químicos.

Para describir el comportamiento de la adsorción de iones suele utilizarse un modelo de complejación superficial. Los, denominados, complejos de *esfera externa* son característicos de iones con tendencia a hidratarse, que constituyen con la superficie una asociación de ion difuso en respuesta a fuerzas electrostáticas. Las reacciones son rápidas y reversibles, permitiendo el remplazamiento entre iones (reacciones "de cambio"). El orden de remplazamiento relativo de los iones depende de su nº de oxidación, del radio del ión hidratado y de la concentración de otros iones en la disolución. En los complejos de *esfera interna* el ión se enlaza con la superficie del suelo, sin existir agua de hidratación. La energía de adsorción es mucho

(Cavallaro y McBride, 1980), dado que la hidrólisis de estos cationes se produce aproximadamente a pH 6 y 8, respectivamente, y lo mismo puede decirse respecto a las variaciones en el mecanismo de retención del Zn, cambiabile a bajo pH y adsorbible a valores superiores a 5.5, cuando comienza a producirse su hidrólisis. No obstante, en presencia de ligandos orgánicos se podría producir un incremento de la solubilidad de los cationes metálicos con el pH debido a la competitividad efectiva ejercida con las superficies oxídicas y formación de complejos solubles (Baham y Sposito, 1986).

Para contaminantes aniónicos los mayores valores de adsorción se producen, naturalmente, a pH ácidos (fig.3).

Además del pH, el potencial redox puede afectar en gran medida los procesos de adsorción. Ejemplos suficientemente bien conocidos son los que afectan al estado óxido-reducción del Fe y Mn, favoreciéndose la adsorción superficial en ambientes oxidantes tendentes a la precipitación de óxidos de FeIII y MnIV, frente a los reducidos, en los que estos elementos son más móviles y con escaso poder de adsorción. Los cambios en los estados redox de estos dos metales puede tener un importante efecto dominó de muchos contaminantes, metálicos y no metálicos (As, Se, fosfatos...). El Eh puede afectar también al propio contaminante. Por ejemplo, el Cr(VI) es muy móvil (y tóxico) como anión, mientras que el Cr(III) es relativamente insoluble y se adsorbe fuertemente sobre las superficies, además de ser menos tóxico. El Se(VI) es más móvil que el Se(IV), que por el contrario es más tóxico.

Para la descripción de las reacciones de adsorción se utilizan usualmente modelos empíricos, como el coeficiente de distribución, K_d , (relación entre el ión adsorbido y en disolución) y las isotermas de adsorción de Freundlich y Langmuir, que suelen dar resultados satisfactorios en situaciones simples y con bajas concentraciones del contaminante. Otros modelos realizan una descripción molecular de la adsorción usando una aproximación a condicio-

nes de equilibrio y utilizando valores de propiedades termodinámicas. Algunos ejemplos de estos modelos son el de *capacitancia constante* (Stumm et al 1980), *capa difusa*, *triple capa* (Davis et al, 1978). Los modelos de adsorción electroquímica se adaptan a un amplio rango de condiciones, pero la adsorción no siempre se restringe a las superficies externas del sorbente; es el caso de la formación de un precipitado superficial o disolución sólida o, en general, cuando tiene lugar una difusión al interior de los poros del sólido, dando origen a procesos de oclusión difícilmente reversibles (Fig.4)

Existen varios programas de cálculo que pueden ser utilizados, como MICROQL (Westall, 1979), FITEQL (Westall, 1982), MINTEQA (Allison et al., 1990), SOILCHEM (Sposito y Coves, 1988), HYDRAQL (Papelis et al., 1988), TRANQL (Cederberg et al., 1985), HYDROGEOCHEM (Yeh y Tripathi, 1990) etc. Una revisión ha sido realizada por (Goldberg, 1995). De todas formas, la utilización de estos modelos para la realización de interpretaciones predictivas también ha sido discutida. Al cuestionamiento acerca del estado de equilibrio de los suelos, y más de los ambientes con perturbaciones recientes de contaminación, se añade la complicación debida a posibles procesos de precipitación y las variaciones sobre los modelos cuando se consideran residuos con mezclas aleatorias de diferentes tipos de contaminantes, que pueden interferir entre sí (efecto "co-waste", McLean y Bledsoe, 1996).

La coprecipitación durante la formación de minerales secundarios, incluyendo los oxihidróxidos de Fe, Al y Mn, puede ser un mecanismo de retención muy importante para metales. Así, la precipitación de ferrihidrita puede actuar como sumidero eficaz tanto para metales pesados como para aniones como HPO_4^{2-} o H_2PO_4^+ y AsO_4^{3-} . La coprecipitación de los metales traza sobre los carbonatos (sobre todo CaCO_3) es muy importante en suelos semiáridos y sobre suelos formados sobre calizas. En el caso del Cd la precipitación de CdCO_3 puede ser acompañada por la quimisorción de

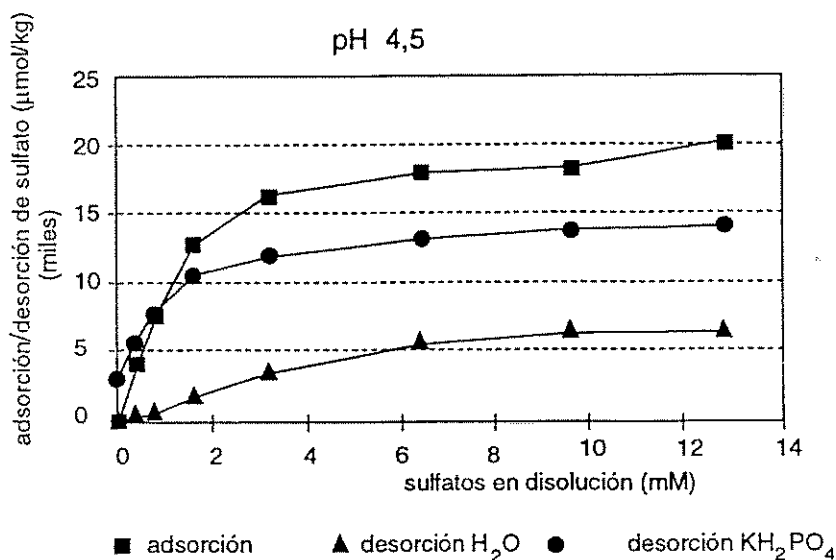


Fig.4. Isotermas de adsorción y desorción de sulfatos de un horizonte B ferrálico de Galicia (Camps et al, 1996).

Cd y reemplazamiento del Ca, por sustitución isomórfica, en el cristal de calcita. Se trataría de una mezcla estable de dos compuestos, CdCO_3 y CaCO_3 , o disolución sólida (Alloway y Ayres, 1993). La concentración del contaminante, en este caso del Cd, influye sobre el predominio de los procesos de adsorción sobre la caliza pre-existente o de los de precipitación como CdCO_3 (McBride, 1980). Algunos estudios recientes señalan que muchos datos que se interpretan normalmente usando modelos de adsorción son realmente procesos de disolución sólida (Miller et al., 1986).

El estado de conocimiento respecto a los procesos de adsorción específica es todavía limitado, de modo que no es posible predecir totalmente las posibles reacciones superficiales de un contaminante en un sistema edáfico. Sería necesario establecer mejor la superficie reactiva de las arcillas, oxihidróxidos de metales y compuestos húmicos presentes en cada suelo y, así y todo, dado que varios procesos pueden operar simultáneamente, se debería poder calcular mejor la distribución entre todas las reacciones

químicas conocidas. A causa del amplio abanico de características de suelo y formas en que los contaminantes iónicos pueden ser añadidos, la evaluación de la importancia de la adsorción debe establecerse específicamente para cada ambiente, tipo de suelo y residuo.

La cinética es, nuevamente, otro factor de complicación dado que para algunos procesos, sobre todo cuando hay difusión, puede ser extremadamente lenta, observándose frecuentemente fenómenos de histéresis entre las reacciones de adsorción y desorción (Fig.4 y 5). Por ello, la interpretación de los datos experimentales realizados a tiempo de contacto fijo para una mezcla compleja de iones puede causar serias dificultades.

Los contaminantes orgánicos no polares (como PAHs, DDT y pesticidas organoclorados) son poco solubles, pudiendo adsorberse por *enlaces hidrofóbicos* sobre los materiales húmicos, de modo que tienen tendencia a quedar retenidos en la superficie del suelo (Chiou, 1989). El coeficiente de partición octanol/agua es una medida de la hidrofobicidad de las mo-

el caso de los productos de oxidación microbiana de los PAHs (benzo pyrenos), de carácter carcinogénico (Doelman, 1992).

No obstante, existen muchos contaminantes orgánicos, sobre todo organoclorados, fuertemente persistentes en suelos, como DDT, PCBs y PCDDs, o con muy baja cinética de degradación (Howard, 1991). Entre ellos cabe destacar la elevada estabilidad de los compuestos con varios enlaces C-Cl para los que, en los últimos años, se han encontrado especies capaces de adaptarse y actuar enzimáticamente sobre ellos, por lo que están siendo utilizadas en técnicas de bioremediación (Norris et al., 1994).

Además de los fenómenos de degradación, los organismos pueden jugar un papel esencial como agentes de adsorción superficial, mencionados anteriormente, así como de solubilización, precipitación, absorción... o transformación de sustancias inorgánicas. Así por ejemplo, ha sido ampliamente demostrada la influencia de determinados tipos de microorganismos, como *Thiobacillus ferrooxidans* (Temple y Colmer, 1951), en la oxidación de sulfuros y producción de aguas ácidas, con la consiguiente solubilización de metales pesados. Estas bacterias pueden acelerar hasta un millón de veces la lenta velocidad de oxidación en condiciones abióticas (Singer y Stumm, 1970). Este poder catalizador de los procesos de solubilización inducidos por los microorganismos ha sido reconocido y eficazmente aprovechado para facilitar la extracción por lixiviación de metales, como uranio, cobre, oro..., presentes como trazas en muchos sulfuros.

Así mismo, la concentración de contaminantes en la disolución del suelo puede ser reducida por procesos de bioextracción y precipitación microbiana que pueden ser utilizados como mecanismos de limpieza o recuperación de sedimentos, lodos residuales, áreas industriales y mineras... Los mecanismos de precipitación microbiana pueden ser muy diferentes, desde adsorción superficial, procesos de transformación y producción de sustancias metabólicas extracelulares que forman con los

metales compuestos insolubles (como la reducción respiratoria de sulfato y formación de sulfuros metálicos o la degradación de fósforo orgánico y liberación de fosfatos y precipitación de fosfatos metálicos en las superficies celulares), formación intracelular de precipitados de Fe o Mn..., etc. La propia reducción bacteriana de algunos elementos traza a su estado elemental puede originar su precipitación, como es el caso del Se (Olson, 1986).

En muchas ocasiones las transformaciones biológicas tienen significativas implicaciones en los efectos de los tóxicos sobre el hombre y otros seres vivos. Es el caso de los procesos de reducción y biometilación de Hg y As (Wood, 1974, Craig, 1980....) en sedimentos anaeróbicos, probablemente como mecanismos microbianos de detoxificación, pero que pueden causar un incremento notable de la toxicidad para otros organismos. Incluso cuando estos elementos se encuentran en formas muy poco solubles, como el HgS, los microorganismos pueden actuar previamente como agentes de solubilización, oxidando los sulfuros. El caso de la formación de metil y dimetil mercurio en la Bahía de Minamata, en Japón, fue de gran notoriedad por el elevado número de víctimas que produjo. Una síntesis de la intervención microbiana en ciclos biogeoquímicos de suelos de estuario se recoge en la fig.7.

EL INTERÉS DE LOS ESTUDIOS DE ESPECIACIÓN

De todo lo recogido anteriormente se deduce lo poco adecuada que resultaría una reglamentación basada exclusivamente en los contenidos totales de contaminantes en suelos, considerados de forma generalizada. Estos datos son importantes para caracterizar vertical y horizontalmente la contaminación y medir cambios a lo largo del tiempo, pero no dan una idea de la distribución de las especies químicas, concepto clave en la comprensión del efecto de los contaminantes en el ambiente, y que fué

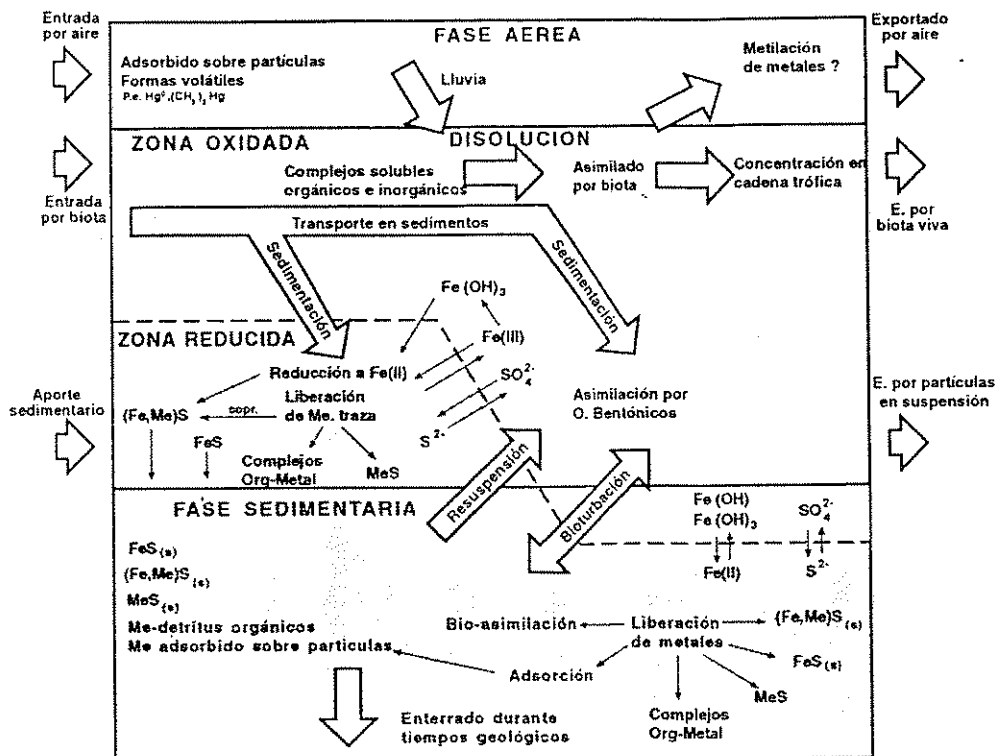


Fig.7. Principales procesos en ciclos biogeoquímicos de metales en sedimentos y suelos (Nelson, 1977).

tema monográfico de una de las Conferencias de Dahlem (Bernhard et al., 1986).

Una mejor aproximación se obtiene aplicando técnicas de fraccionamiento de contaminantes en el suelo, desde formas solubles y cambiables... a las ligadas con mayor o menor energía a los diferentes constituyentes. Se han descrito numerosos procedimientos que utilizan técnicas de extracción, selectiva o secuencial (bien en el conjunto de la fracción <2mm o en las fracciones más finas), con agentes extractantes de fuerza creciente, desde disoluciones salinas muy diluidas a ácidos débiles, bases, compuestos quelantes, disoluciones oxidantes, reductoras..., así como obtención de lixiviados por actividad biológica, medidas de hidrofobicidad, en el caso de compuestos orgá-

nicos no polares,... etc. (Leschber et al, 1984; Calvet et al., 1990). Son procedimientos no exentos de problemas, dado que los agentes extractantes no son absolutamente específicos para una fracción ni universales para todos los tipos de suelo, además de que algunos pueden actuar sobre los materiales generando "artefactos" o respuestas artificiales. No obstante, son operativos y permiten aproximaciones útiles. La fracción soluble y la extraída con disoluciones salinas poco enérgicas son, en teoría, las más adecuadas para simular la disolución del suelo, las concentraciones más fácilmente bioasimilables y las potencialmente más móviles. Las restantes fracciones permiten realizar discusiones acerca del mayor o menor potencial de la fase sólida para influir en la fase líquida,

dependiendo de otros factores del medio, actuales y futuros.

Se han propuesto, también, métodos de especiación de contaminantes en las fases fluidas, fundamentalmente para metales y aniones inorgánicos. Muy frecuentemente los modelos utilizados consideran exclusivamente las formas monoméricas solubles y olvidan la importancia que pueden llegar a tener las fracciones coloidales, en suspensión, sobre la contaminación de acuíferos. Una completa especiación de las fases fluidas debería considerar las formas poliméricas, los complejos coloidales y las especies solubles, libres (en distintos estados de oxidación según el elemento o el compuesto) o complejadas. En el caso de los metales, los ligandos complejantes pueden ser orgánicos (compuestos alifáticos, aromáticos y aminoácidos de bajo peso molecular, y también los constituyentes solubles de los ácidos fúlvicos) e inorgánicos (SO_4^{2-} , Cl^- , OH^- , PO_4^{3-} , CO_3H^- , NO_3^- , CO_3^{2-} , F^- , etc.).

No existe una metodología convencional, ampliamente admitida, para la especiación de las fases fluidas, que suele realizarse por una combinación de métodos empíricos de filtración (para separar formas coloidales) y separación mediante resinas complejantes o quelantes, y modelos de cálculo que consideran datos termodinámicos de diferentes especies monoméricas inorgánicas en equilibrio. Existen constantes de formación para varios complejos (Martell y Smith, 1974-1982; Lindsay, 1979; Nordström y Muñoz, 1985). Actualmente se están obteniendo directamente datos de concentración de algunas especies por técnicas de cromatografía iónica.

La complejación orgánica no está tan bien definida como la inorgánica ya que es difícil identificar el gran número de compuestos orgánicos posibles, sobre todo, los que resultan de combinaciones entre ellos (Alberts y Giesy, 1983) y no se dispone de los datos termodinámicos necesarios. Modelos utilizados para cálculos de especiación son, entre otros, GEOCHEM (Mattigod y Sposito, 1979),

SOILCHEM (Sposito & Coves, 1988), MINTEQA2 (Allison et al., 1990),...

La especiación de la fase líquida es enormemente útil si se tiene en cuenta que muchos elementos presentan un grado de toxicidad variable según la especie en que se encuentren. Además, los modelos utilizados permiten establecer tendencias o, incluso, hacer predicciones respecto a las relaciones de la disolución y la fase sólida del suelo, la biosfera y la hidrosfera ante posibles cambios del ambiente, como pH, Eh, fuerza iónica, concentración de ligandos... etc.

Para evaluar el transporte de metales en suelos se están desarrollando últimamente diferentes modelos cinéticos, ecuaciones de primer orden, de segundo orden, ecuación de Elovich, ecuación de difusión parabólica, etc. (Sparks, 1989). Estos modelos explican comportamientos observados en la movilización de algunos contaminantes que no se comprendían suficientemente por consideraciones exclusivamente termodinámicas.

En Galicia se han realizado algunos estudios que permiten reconocer la complejidad del conjunto de reacciones que pueden afectar la movilización de un tóxico y valorar el interés de los estudios de especiación. Uno de los casos es el del aluminio, el metal más abundante de la corteza, que aparece originalmente como aluminosilicato. La relativamente baja solubilidad de los aluminosilicatos primarios y secundarios y la alta afinidad de las superficies por Al causa una baja liberación a las aguas superficiales de este elemento, que en su mayoría es retenido en los horizontes A y B del suelo. Sin embargo, dado que el contenido total de Al es muy grande, las perturbaciones en el tipo de alteración provocadas por contaminación acidificante pueden causar grandes incrementos en la movilidad del Al hacia aguas naturales.

En suelos forestales de Galicia el contenido de Al es próximo a un 10% en el horizonte A. La mayor parte de este valor total no es reactivo, tanto para reacciones químicas como biológicas. La fracción reactiva ("Al libre") es de 1-2% del total y está constituida por formas precipita-

das de mayor o menor cristalinidad, adsorbidas a las superficies de cambio de materia orgánica y arcillas, complejadas con compuestos húmicos..., formas que puede diferenciarse por métodos operativos de extracción (Fig.8). La mayor cantidad de Al libre se registra en horizontes superficiales de suelos con carácter *ándico*, sobre rocas básicas, siendo los complejos Al-MO la fracción predominante, que condiciona, incluso, una disminución del Al cambiante, frente a lo observado en suelos sobre materiales graníticos en los que el Al de cambio supera el 65 %.

La forma más disponible de Al es, evidentemente, la soluble, que constituye una pequeña fracción respecto al valor total. Potencialmente todas las formas podrían controlar la disolución, sin embargo dado que la cinética de liberación de Al desde minerales primarios cristalinos es muy lenta, lo más probable es que la concentración de Al en disolución dependa básicamente de la "fracción libre". La concentración de Al en la fase acuosa de los suelos forestales de Galicia varía con el pH, pudiendo alcanzar valores superiores a 1 mg.L^{-1} . Además del pH otros factores, como la presencia de complejantes orgánicos, aumentan la movilidad, como se pone de manifiesto a partir de los datos de especiación de la fase fluida. El método utilizado (Driscoll, 1984) permite separar formas en suspensión >0.45 micras, formas solubilizables por ácidos y formas solubles monoméricas, orgánicas (AlnL) e inorgánicas (AlL), estas últimas diferenciadas a partir del programa de cálculo SOLMINEQ-88 (Kharaka et al, 1989) en las siguientes especies: Al^{3+} ; (Al-OH): $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$, $\text{Al}(\text{OH})_2^+$, $\text{Al}(\text{OH})_3^0$, $\text{Al}(\text{OH})_4^-$; (Al-F): AlF^{2+} , AlF_2^+ , AlF_3^0 , AlF_4^- ; (Al-SO₄) (Fig.8)

Los complejos solubles, inorgánicos Al-F y orgánicos Al-MO (AlnL), y los polímeros mayores de 0.45 micras, constituyen el Al móvil de los horizontes superficiales de estos suelos forestales. El control de la concentración en disolución es ejercido probablemente por complejos organometálicos junto a filosilicatos 1:1

de baja cristalinidad. En los horizontes B y C se produce una precipitación como gibbsita, caolinita..., minerales que ejercen el control en estos horizontes (Calvo de Anta y Macías, 1993).

La precipitación de los complejos húmicos, en superficie, el descenso de F en la disolución de los horizontes profundos (debido al fuerte poder de fijación de aniones en los suelos de Galicia) y, fundamentalmente, el incremento del pH con la profundidad, provocan una escasísima movilización del Al hacia las aguas fluviales, en donde aparece en forma monomérica hidroxilada (Al-OH) .

En medios acidificados la situación es muy diferente. Así, por ejemplo, al contacto con aguas de escorrentía provenientes de escombreras ricas en sulfuros de Cu y Fe, fuertemente ácidas (pH próximo a 2) y con altos contenidos de sulfatos (hasta de 3000 mg.L^{-1}), la concentración de Al en disolución puede alcanzar valores superiores a 70 mg.L^{-1} , distribuido entre especies de Al libre (Al^{3+}) y complejos Al-SO₄ (Fig.9). El control parece ser ejercido por la precipitación de minerales de tipo hidroxisulfato (basaluminita, alunita, jurbanita...). La identificación de algunos de estos minerales en la fracción arcilla de los suelos afectados puede ser interpretada como una validación de la aplicación de los modelos predictivos de estabilidad, lo que se revela de gran utilidad dada la necesidad de predecir riesgos generalizados de contaminación de ríos en amplias áreas sometidas a deposición ácida.

BOMBAS QUÍMICAS

Si el contenido total de un compuesto tóxico en el suelo y su distribución en diferentes formas sólidas y en disolución permite una valoración de la situación actual de la contaminación y un análisis de riesgos hacia otros sistemas, la decisión final con respecto a la protección del suelo y definición de "inmisiones máximas permitidas" debe tener en cuenta que la capacidad de amortiguación no debe consi-

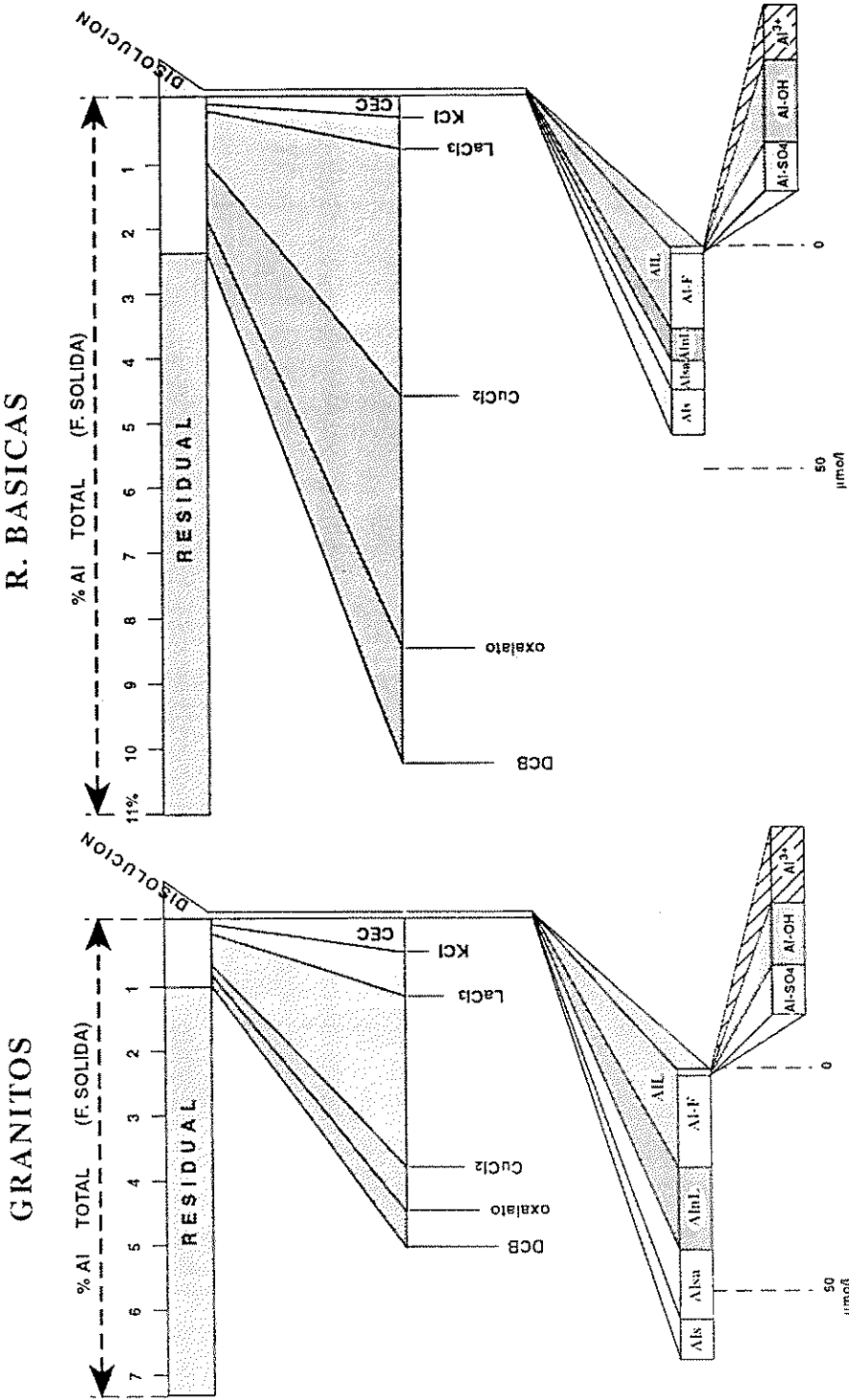
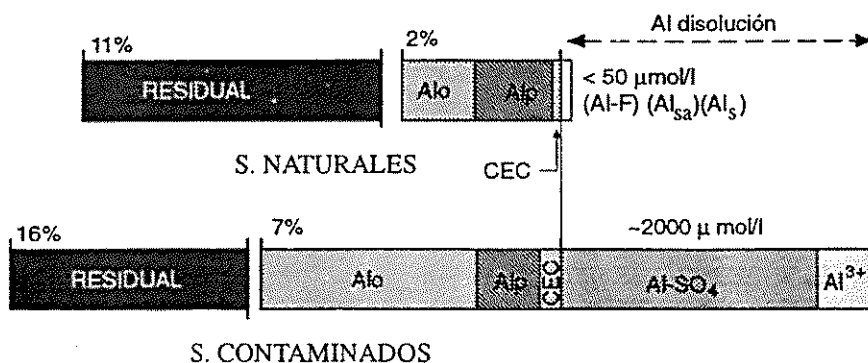


Fig.8. Esquema simplificado de la especiación de Al (fracción sólida y soluble) en horizontes A de suelos forestales de Galicia sobre diferentes materiales geológicos (Alvarez Rodriguez y Calvo de Anta, 1992).

a)



b)

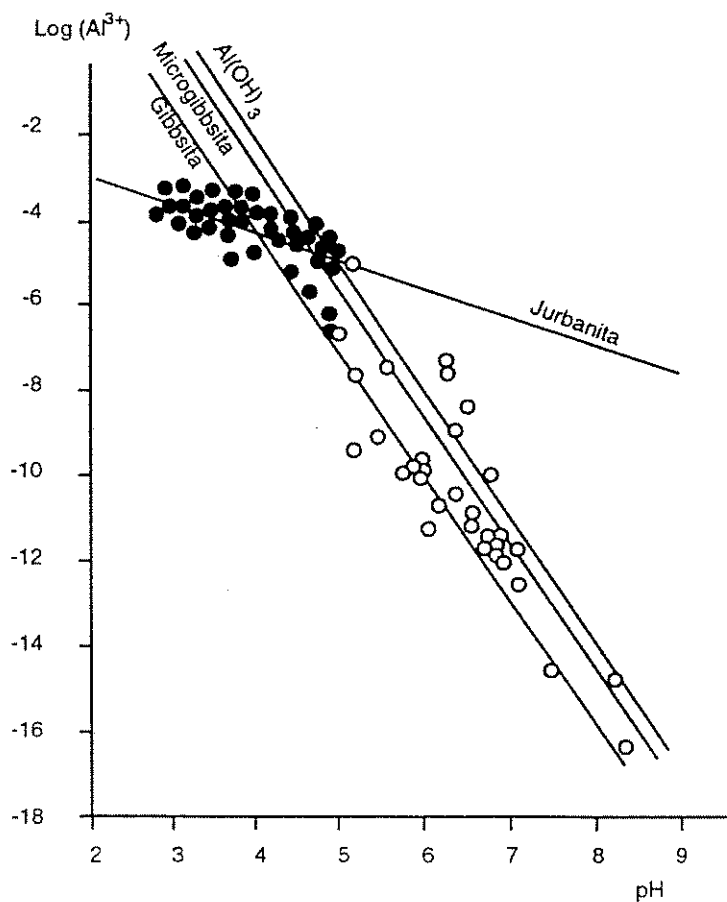


Fig.9 (a): Especiación de Al en disolución de suelos de Galicia contaminados con aguas ácidas de mina; (b): diagrama de estabilidad mineral para gibbsita (Hemingway et al., 1978, caolinita (Kittrick, 1966) y jurbanita (Nordstrom, 1982) (Perez Otero y Calvo de Anta, 1992).

derarse ilimitada y que, además, pequeñas modificaciones en determinados parámetros del ambiente podrían generar grandes variaciones de comportamiento y afectar gravemente al estado de los sistemas. Una bomba química ha sido definida como *la cadena de acontecimientos que resultan de la retrasada y repentina presencia de efectos perjudiciales debidos a la movilización de sustancias químicas almacenadas en suelos y sedimentos en respuesta a lentas alteraciones del ambiente* (Stigliani, 1988)(fig.10). Un sencillo ejemplo acerca de las transformaciones que pueden sufrir los contaminantes con el tiempo se ha observado en las proximidades a una industria de producción de acero en Galicia. En dos análisis realizados en el transcurso de 15 años, la fracción disponible en los suelos cercanos incrementó drásticamente (Tabla 5).

Tomando como base el concepto de Desarrollo Sostenible, y teniendo como idea generalizada la necesidad urgente de coordinar la protección del suelo a nivel internacional, el Ministerio Holandés de Planificación Ambiental (VROM) y una comisión del IIASA (Instituto para Analisis de Sistemas Aplicados) de Austria, inician el programa "Chemical Time Bombs in Europe" (CTBs), patrocinado por la Fundación para el Ecodesarrollo "de Holanda (1990). A partir de esta iniciativa se realizaron

varias sesiones de trabajo (Budapest, 1990; Polonia, 1991; Uppsala, 1991; Valencia, 1992; Moscú 1992; Postdam, 1992...) para diferentes regiones, el área del Danubio, del Báltico, países nórdicos... etc.

Los parámetros considerados como principales o posibles desencadenantes de los cambios futuros podrían ser: modificaciones fuertes del pH, modificación de temperatura, humedad, potencial redox, descenso de la materia orgánica, incremento de la concentración salina, incremento de la cantidad de ligandos naturales y sintéticos capaces de dar complejos solubles, perturbaciones mecánicas (erosión, solifluxión, deterioro de la estructura, compactación, dragados, bioturbación...). Las causas posibles de tales modificaciones podrían incluir, entre otras, el incremento de los niveles de CO₂ y otros gases que crean el efecto invernadero, modificaciones del régimen hidrológico y del nivel del mar, incremento del ozono troposférico, cambios de uso y manejo del suelo....

El establecimiento de riesgos en cuanto al concepto de CTBs está todavía escasamente desarrollado. El objetivo de realizar una cartografía de "vulnerabilidad" de los suelos de Europa a escala 1:5M (proyecto SOVEUR), entendiendo por vulnerabilidad el riesgo a decaer en el cumplimiento de sus funciones (Tabla 6) exige

Tabla 5. Valores medios de Mn en suelos del entorno a una industria de carburos metálicos en Cee (La Coruña).

cm	Muestras con >1000 mg/kg			Muestras con <400 mg/kg		
	Cultivos	Praderas	Bosques	Cultivos	Praderas	Bosques
0-10	3580	3636	2608	244	300	126
10-20	2190	2815	659	300	362	99

	Mn inerte	Mn facilmente reducible
1976	53%	47%
1991	15%	85%

Tabla 6. Parámetros relevantes en la determinación de la vulnerabilidad de los suelos a los procesos de eutrofización (N/P), dispersión de metales pesados y compuestos orgánicos (M⁺/org) y acidificación (Klijn, 1991)

	N/P	M ⁺ /org.	H ⁺
MATERIAL ORIGINAL			
Contenido de CaCO ₃	-	-	-
Contenido de silicatos alterables	-	-	-
Textura (arcilla, limo)	-	-	-
SUELO			
Textura (arcilla, esp.Fe y Al)	-	-	-
Oxi-Hidroxidos de Fe y Al	-	-	-
Prof. de decalcificación	-	-	-
% de materia orgánica	-	-	-
Nivel de la capa freática (condiciones redox)	-	-	-
AGUAS SUPERFICIALES Y FREATICAS			
Fluctuaciones de la capa freática	-	-	-
Dirección y velocidad de flujo	-	-	-
Calidad del agua	-	-	-

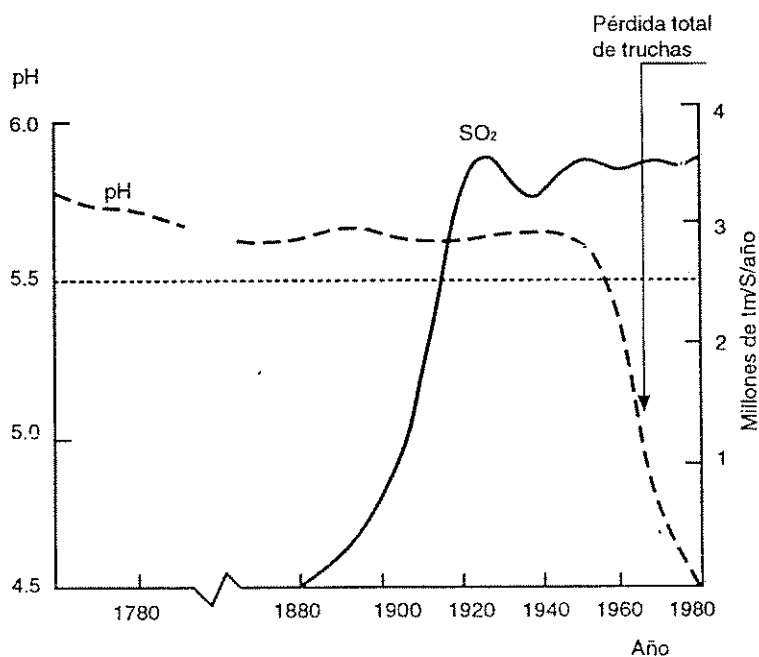


Fig.10. Evolución del pH, emisiones de SO₂ y extinción de peces en el lago Gran Moose, en el estado de Nueva York (Stigliani, 1988).

- samples. *Geochem. et Cosmochim. Acta*, 42:1533-1543.
- HOWARD, P.H. (1991).- *Handbook of Environmental Degradation Rates*. Lewis Publ. INC. Michigan. 725 pp.
- ICRCL.1987. Interdepartamental Committee on the Redevelopment of Contaminated Land. *Guidance on the Assessment and Redevelopment of Contaminated Land*". ICRCL Guidance Note 59/83, 2nd edn, DoE, London.
- JURY, W.A., WINER, A.M., SPENCER, W.F. y FOCHT, D.D. (1987).- Transport and transformations of organic chemicals in the soil-air-water ecosystem. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 99: 120-164.
- JURY, W.A. (1993).- Volatilization of organic chemicals from soil. En: Schulin, R., Desaulles, R., Webster, R. y von Steiger, B. (eds). *Soil Monitoring, Early Detection and surveying of Soil Contamination and Degradation*. Birkhäuser Verlag. Basel. 362pp.
- KHARAKA, Y., GUNTER, W., AGGARWAL, P., PERKINS, E. y DEBRAAL, J. (1989).- *Solmineq.88: A Computer program for Geochemical Modelling of water-rock interactions*. U.S. Geological Survey. Denver.
- KITTRICK, J.A. (1966).- Free energy of formation of kaolinite from solubility measurements. *The American Mineralogist* 51, 1457-1466.
- KLIJN, F. (1991).- *Environmental Susceptibility to Chemicals: from Processes to Patterns, with Special Reference to Mapping Characteristics and Spatial Scales. Soil Vulnerability to Pollution in Europe*. Batjes, N.H. y Bridges, E.M. (eds). ISRIC.1991.
- LANDNER, L. (Ed.) (1986).- Speciation of Metals in water Sediment and Soil Systems. *Lecture Notes in earth Sciences*, 11. Springer-Verlag. Berlin, 190pp.
- LESCHBER, R. DAVIS, R. y L'HERMITE, P. (1984).- *Chemical Methods for Assessing bio-available metals in sludges and soils*. Commision of the European Communities. Elsevier Applied Sci. Publ. London. 96 pp.
- LEXMON, TH.M. (1980).- The effect of soil pH on copper toxicity to forage maize grown under field conditions. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 28:164-183.
- LINDSAY, W. (1979).- *Chemical equilibria in soils*. John Wiley & Sons (ed.). Inc. New York, 449 pp.
- LYMAN, W.J., REEHL, W.F. y ROSENBLATT, D.H. (1982).- *Handbook of Chemical property Estimation Methods*. McGraw-Hill, New York.
- MANAHAN, S.E. (1994).- *Environmental Chemistry* (6th edition). Lewis Publ, Chelsea, Mich. 810 pp.
- MANZIONE, M.A. y MERRILL, D.T. (1989).- *Trave Metal Removal by Iron Coprecipitation: Field Evaluation*. Electric Power Research Institute Report EPRIGS-6438, Palo Alto, CA, USA.
- MARTELL, A.E. y SMITH, R.M (1974-1982).- *Critical Stability Constants*, 5 Vols., Plenum Press. New York.
- MATTIGOD, S.V. y SPOSITO, G. (1979).- Chemical modeling of trace metals equilibrium in contaminated soil solutions using the computer program GEOCHEM. En: E.A. Jenne (ed.), *Chemical Modeling in Aqueous Systems*. ACS n° 93, Am. Chem. Soc., Washington, D.C.
- MCBRIDE, M.B. (1980).- Chemisorption of Cd²⁺ on calcita surfaces. *Soil Sci. Soc. Am.J.*, 44: 26-28.
- MCLEAN, J.E., y BLEDSOE, B.E. (1996).- Behavior of Metals in Soils. En: J. Russell Boulding (ed.). *EPA Environmental Assesment Sourcebook*. Ann Arbor Press, Inc. Chelsea, Michigan, pp. 19-55.
- MILLER, J.W., LOGAN, T.J. y BINGHAM, J.M. (1986).- The adsorption of phosphate on aluminum: a solid solution model. *Soil Science Soc. of Am. J.*, 50. 609-616.
- MÜLLER, G. (1981).- Heavy metals and other pollutants in the Environment. A

- chronology based on the analysis of dated sediments. En. proc. *Int. Conf. Heavy Metals in the Environment*, Amsterdam, ed. W.H.O. Ernst, pp 12-17. Edinburgh: CEP Consultants.
- NELSON, M.B., DAVIS, J.A., BENJAMIN, M.M. y LECKIE, J.O. (1977).- *The role of iron sulfides in controlling trace heavy metals in anaerobic sediments: oxidative dissolution of ferrous monosulfides and the behavior of associated trace metals*. Report CEEDO-TR-7-13. Civil and Environmental Engineering Development Office, Air Force Systems Command, Tyndall AFB, Florida, USA.
- NICHOLLS, P.H. (1991).- *Organic Contaminants in Soils and Groundwaters*. En: Jones, K.C. (ed). *Organic contaminants in the environment. Environmental Pathways & Effects*. Elsevier Applied Science. London, pp. 87-132.
- NILSSON, J. y GRENFELT, P. (eds). (1988).- *Critical loads for sulphur and nitrogen*. Report from a workshop held at Skokloster, Sweden. 418 pp. UN/ECE and Nordic Council of Ministers.
- NORDSTROM, D.K. (1982).- The effect of sulfate on aluminum concentrations in natural waters: some stability relations in the system Al_2O_3 - SO_3 - H_2O at 298K. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 46, 681-692.
- NORDSTROM, D.K. y MUÑOZ (1985).- *Geochemical thermodynamics*. U.S. Geol. Surv. Benjamin Cummings Publ. Co., Menlo Park, CA.
- NORRIS, R.D. et al. (1994).- *Handbook of Bioremediation*. Lewis Publ. Boca Raton. 257 pp.
- OLSON, G.J. (1986).- Microbial Intervention in Trace Element-containing Industrial process Streams and waste Products. En: M. Bernhard, F.E. Brinckman y P.J. Sadler (eds). *The importance of Chemical "speciation" in Environmental Processes*, pp.493-512. Dahlem Konferenzen. Springer-Verlag, Berlin.
- PAPELIS, C., HAYES, K.F. y LECKIE, J.O. (1988).- *HYDRAQL: A program for the computation of chemical equilibrium composition of aqueous batch systems including surface-complexation modeling of ion adsorption at the oxide/solution interface*. Tech. Rep. n° 306. Dep. of Civil Eng., Stanford Univ., Stanford, CA.
- PEREZ OTERO, A. y CALVO DE ANTA, R. (1992).- Soil pollution in copper sulphide mining areas in Galicia (NW Spain). *The Science of the Total Environment* 133, 17-37
- POSCH, M. et al. (1995).- *Calculation and Mapping of Critical Thresholds in Europe*. Status Report n° 259101004. RIVM. Bilthoven. 198 pp.
- RAVERA, O. (1989).- *Ecological Assessment of Environmental Degradation, Pollution and Recovery*. Elsevier.
- REUSS, J.O. y JOHNSON, D.W. (1986).- *Acid Deposition and the Acidification of Soils and Waters*. Springer-Verlag, New York, 119 pp.
- SAUERBECK, D. (1987).- Effects of Agricultural Practices on the Physical, Chemical and Biological properties of Soils. Part II. Use of sewage sludge and agricultural wastes. En: H.Barth y P. L'Hermite (eds.). *Soil Protection in the European Community*. Elsevier Applied Science, pp.181-210.
- SINGER, P.C. y STUMM, V. (1970).- Acidic mine drainage: The rate-determining step. *Science* 167: 1121-1123.
- SPARKS, D.L. y SUAREZ, D.L. (1991).- *Rates of soil Chemical processes*. SSSA Special Publication n° 27. Madison, Wisconsin, USA.
- SPOSITO, G. (1984).- *The surface chemistry of soils*. Oxford University Press. 234 pp.
- SPOSITO, G. y COVES, J. (1988).- *SOILCHEM: A computer program for the calculation of chemical speciation in soils*. Kearney Found. Soil Sci., Univ. California, Riverside.
- STIGLIANI, W.M. (1988).- Changes in valued "capacities" of soils and sediments as

- indicators of nonlinear and time-delayed environmental effects. *Environmental Monitoring and Assessment*, 10, 245-307.
- STOCKER, H.S., SEAGER, S.L. (1981).- *Química ambiental. Contaminación del aire y del agua*. Ed. Blume. Barcelona.
- STUMM, W., RUMMERT, R. y SIGG, L. (1980).- A ligand exchange model for the adsorption of inorganic and organic ligands at hydrous oxide interfaces. *Croat. Chem. Acta* 53: 291-312.
- TEMPLE, K.L. y COLMER, A.R. (1951).- The autotrophic oxidation of iron by a new bacterium, *Thiobacillus ferrooxidans*. *J. Bacteriol.*, 62: 605-611.
- ULRICH, B., MAYER, R. y KHANNA, P.K. (1979).- Deposition von Luftverunreinigungen und ihre Auswirkungen in Waldökosystemen im Solling. Schriften aus der Forstlichen Fakultätsität der Universität Göttingen und der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt. Band 58:291
- URE, A.M. y BERROW, M.L. (1982).- The Chemical constituents in Soils. En: *Environmental Chemistry*. H.J.M. Bowen (ed.). pp. 127-224. The Royal Chemical Society, London.
- VAN BREEMEN, N., VAN GRINSVEN, J.J.M. y DE VRIES, W. (1996).- Effects acid atmospheric deposition on soil and groundwater. En: *Soil Pollution and Soil Protection*. F.A.M. de Haan y M.I. Visser-Reyneveld (eds.). Wageningen. pp. 239-259.
- VEGTER, J.J. 1993. Development of soil groundwater clean-up standards in the Netherlands. En: *Proceedings of Developing Clean-Up Standards for Contaminated Soils, Sediment and Groundwater*. Water Environment Federation, USA, pp.81-92.
- VEGTER, J.J. (1996).- Soil protection. En: *Soil Pollution and Soil Protection*. F.A.M. de Haan y M.I. Visser-Reyneveld (eds.). Wageningen. pp.19-31.
- VROM, 1991. Ministry of Housing Physical Planning and the Environment. *Environmental quality standards for soil and water*. Second Chamber of the States General, session 1990-1991, 21990, nº 1
- WESTALL, J.C. (1979).- *MICROQL I. A chemical equilibrium program in BASIC II*. Computation of adsorption equilibria in BASIC. Tech. Rep., Swiss Fed. Inst. Technol., EAWAG, Dübendorf, Switzerland.
- WESTALL, J.C. (1982).- *FITEQL: A computer program for determination of equilibrium constants from experimental data*. Rep. 82-01. Dep. Chem., Oregon State Univ., Corvallis, OR.
- WESTALL, J.C., ZACHARY, J.L. y MOREL, F.M.M. (1976).- *MINEQL: A computer program for the calculation of chemical equilibrium composition of aqueous systems*. Tech. Note 18. Ralph M. Parsons Lab., Dep. Civil Eng., Massachusetts Inst. Technol., Cambridge, MA.
- WOOD, J. (1974).- Biological cycles for toxic metals in the environment. *Science* 183, 1049-1052.
- YEH, G.T. y TRIPATHI, V.S. (1990).- *HYDROGEOCHEM: A coupled model of Hydrologic transport and Geochemical equilibria in reactive multicomponent systems*. Rep. ORNL-6371, Oak Ridge Natl. Lab., Oak Ridge, TN.

EVALUACIÓN DE LOS PROCESOS DE SALINIZACIÓN DE SUELOS BAJO RIEGO

ILDEFONSO PLA SENTÍS

Departament de Medi Ambient i Ciències del Sol. Universitat de Lleida

INTRODUCCIÓN

El riego de tierras agrícolas ha sido considerado ya desde hace varios milenios la manera más efectiva de incrementar y regular la producción agrícola, especialmente en climas áridos y semiáridos. La suplencia de los alimentos requeridos para la creciente población mundial en las próximas tres a cuatro décadas requerirá un incremento de más del 50% en la producción agrícola. Dicho incremento deberá basarse en gran parte en los aumentos de rendimientos y en una mayor intensificación de la producción en tierras ya cultivadas, en parte a través de la introducción del riego, y en la expansión del riego a nuevas tierras (FAO, 1988).

A pesar de que el desarrollo de la agricultura de riego ha estado asociada al desarrollo de grandes civilizaciones de la antigüedad, su rápida expansión a grandes áreas ha ocurrido en su mayor parte en los últimos tiempos. De unas ocho millones de hectáreas (Mha) bajo riego en todo el mundo en el año 1800, el área regada se extendió a alrededor de 50 Mha en 1900, y a casi 250 Mha hoy en día, con proyectos para su expansión a 350-400 Mha, especialmente en países en desarrollo, en los próximos 20-30 años. Ya hoy en día unas mil millones de personas en todo el mundo realizan actividades relacionadas con la agricultura de riego, la cual produce en

sólo un 15-18% de la tierras cultivadas un 35% del total de alimentos (Szabolcs, 1989; WRI-IIED-UNEP, 1988).

Los beneficios derivados de la agricultura de riego frecuentemente no han sido sostenibles por la salinización o desarrollo de suelos afectados por sales. Esta salinización puede conducir a una pérdida parcial o total de la capacidad productiva del suelo, al provocar una degradación interna, prácticamente irreversible, de sus propiedades químicas y físicas. Esto es conocido desde tiempos muy antiguos, habiéndose citado que la salinización de grandes áreas de las tierras regadas en la llanura aluvial de Mesopotamia, al conducir a descensos drásticos en la producción de alimentos, fué una de las principales causas de la caída de la civilización sumeria hace ya casi 5000 años. En todo el mundo más de un 10% de las tierras están afectadas en condiciones naturales por algún tipo o nivel de salinización, de las cuales unas 350 Mha están completamente desertificadas. Lamentablemente, el incremento reciente de áreas bajo riego ha estado y sigue acompañado del desarrollo de suelos afectados por sales, lo cual a su vez ha llevado a un descenso por debajo de lo previsto o deseable en el desarrollo de nuevas áreas de riego. A través de la historia se considera que por intervención del hombre, se han salinizado unas 25 Mha en tierras de

regadío, mientras que cada año alrededor de 1,5 Mha de tierras bajo riego pierden 25-50% de su capacidad productiva debido a la salinización, y ya un 50% o más de las tierras actualmente regadas en el mundo sufren algunas pérdidas de productividad por procesos de salinización incipientes. Aunque la extensión de tierras degradadas anualmente por otros procesos, especialmente por erosión (6-7 Mha) es superior, la degradación por salinización tiene una transcendencia igual o mayor desde los puntos de vista económico, social y ambiental, tomando en cuenta los costos de desarrollo de agricultura de riego, el alto consumo de recursos hídricos cada vez más escasos y su alta contribución a la producción local o mundial de alimentos. De ahí la gran importancia y urgencia que reviste una evaluación adecuada y precisa de los procesos de degradación de suelos por salinización que conduzca a la selección, desarrollo y aplicación de medidas eficientes para la prevención, control o reversión, según los casos, de dichos procesos. También deben considerarse en dichas evaluaciones la contribución creciente de las aguas de drenaje de las tierras bajo riego a otros problemas ambientales, como el anegamiento de tierras más bajas y la contaminación con sales, nitratos, y otros productos químicos de uso agrícola, de aguas freáticas o superficiales que necesiten utilizarse para otros fines.

PROCESOS Y CAUSAS DE LA SALINIZACIÓN DE SUELOS EN TIERRAS BAJO RIEGO

Los problemas de salinización de suelos son generalmente la consecuencia de la acumulación de sales en zonas y profundidades donde el régimen de humedad del suelo se caracteriza por fuertes pérdidas de agua por evaporación y transpiración, y por un reducido lavado de las sales que estaban disueltas en ella. A pesar de que estos procesos de salinización se pueden desarrollar en forma progresiva bajo condiciones naturales, donde existan combinaciones de aridez y drenaje restringido, generalmente solo

se aceleran cuando el régimen de humedad del suelo cambia drásticamente con intervención del hombre, especialmente con la introducción del riego sin una adecuada combinación de su manejo y de las condiciones de drenaje.

Las aguas de riego contienen siempre sales en solución, en variables cantidades y composiciones. Sus aportes de sales pueden alcanzar hasta 10 toneladas (Mg) por hectárea en un año. La mayoría de esas sales permanecen en el suelo cuando el agua de riego se pierde fundamentalmente por evapo-transpiración. Cuando dichas sales no son lavadas al subsuelo y eliminadas con el agua de drenaje interno, pueden acumularse en el suelo superficial hasta niveles que afecten el crecimiento de las plantas o las propiedades del suelo. Cuando el lavado requerido no es provisto por un exceso de agua de lluvia, lo cual es más común en climas áridos y semiáridos, se requerirá aplicar un exceso de agua de riego con dicho fin. Si dichos excesos de agua no son evacuados a través de sistemas naturales o artificiales de drenaje, las sales lavadas pueden volver a resalinizar el suelo superficial en el mismo sitio o en áreas adyacentes.

De los argumentos precedentes puede sacarse la conclusión de que la introducción de riego en zonas áridas, semiáridas e incluso subhúmedas, puede conducir a la salinización del suelo cuando no existen o no se proveen las condiciones adecuadas de drenaje. Las prácticas de drenaje para controlar los problemas de salinidad eran casi desconocidas hasta los inicios de este siglo, y solamente hasta 1945-50 no tuvieron una base científica (Boumans, 1987). El concepto de requerimiento de lavado, o lavado requerido para controlar la salinidad por debajo de límites tolerables (expresado como una fracción del agua de riego aplicada) sólo fué introducido en 1954 (USDA, 1954). El posterior desarrollo y aplicación de estos conceptos y prácticas han permitido en muchos casos llegar a controlar los procesos de salinización, e incluso recuperar tierras ya salinizadas, con lo que se ha terminado con el viejo axioma de que la agricultura de riego, tarde o temprano, y en cualquier circunstancia, conduce a la salinización de las tierras en que se aplica.

En muchos casos, las áreas con agricultura de riego están localizadas en zonas vecinas a desarrollos urbanos e industriales, que compiten por el uso del agua de buena calidad. En esas ocasiones a veces se deja el agua de peor calidad para el riego de cultivos, incluyendo aguas freáticas de alta salinidad, o aguas residuales de origen urbano e industrial más o menos tratadas. La sobreexplotación de acuíferos en llanuras costeras lleva con frecuencia a la intrusión de aguas salinas de mar hacia el acuífero, con lo que se incrementa la salinidad del agua extraída para riego. En algunos casos, aún en acuíferos que no están en contacto con aguas marinas, su sobreexplotación lleva a un descenso del nivel de bombeo y a la extracción de aguas freáticas más profundas y más salinas.

El exceso de agua requerida para lavar las sales del suelo, ya sea en proceso de recuperación o de prevención de salinidad, puede causar otros problemas ambientales derivados del desagüe y uso posterior de dichas aguas de drenaje. El problema se agrava a veces, porque esos efluentes contienen además de sales, residuos de fertilizantes y pesticidas, generalmente utilizados en grandes cantidades en agricultura intensiva de riego, e incluso metales pesados y otros contaminantes cuando se usan aguas residuales para riego. En ese caso, todos estos productos pueden llegar a contaminar otras aguas superficiales o subterráneas utilizadas para fines urbanos, industriales o agrícolas, y a restringir sus posibilidades de ser reutilizadas. En dichos casos, las prácticas y sistemas de riego y drenaje deben perseguir una máxima eficiencia en el uso del agua de riego, reduciendo las posibilidades de pérdidas y contaminación de otras aguas, manteniendo al mismo tiempo las sales a profundidades que no puedan ser alcanzadas por las raíces de los cultivos (Rhoades y Suárez; 1977). Esto tiene a veces que combinarse con sistemas para interceptar las aguas de drenaje antes de que se mezclen con otras aguas que puedan llegar a contaminar.

Se ha especulado acerca de la posible influencia de futuros cambios climáticos globales sobre el incremento de las áreas afectadas por

sales donde ya la salinización es un problema (Szabolcs, 1990). Para ello se plantean como posibles causas incrementos en el índice de aridez, que afectaría el régimen hídrico y balance de sales en el suelo, con menos lavado y más salinización; y el ascenso del nivel de los mares, con inundaciones de aguas salinas en las tierras bajas de los deltas, e incremento en la intrusión de aguas salinas en los acuíferos costeros.

CARACTERÍSTICAS Y CONDICIONES PARA EL DESARROLLO DE SUELOS SALINOS Y SÓDICOS

Todos los suelos con problemas derivados directa o indirectamente de la cantidad o tipo de sales presentes en la solución del suelo, se llaman genéricamente **"suelos afectados por sales"**. Los problemas resultantes pueden ser muy diferentes dependiendo de los procesos geoquímicos que intervengan en el proceso de salinización, ya sea de origen primario (procesos naturales) o secundario (con intervención del hombre). En ambos casos los factores responsables son la concentración y la composición relativa de las sales en las aguas superficiales y subterráneas, y los cambios que puedan sufrir en la solución del suelo como consecuencia de la influencia del clima, del riego y del drenaje sobre el régimen hídrico del suelo. Los principales factores climáticos a considerar son la lluvia y la evapo-transpiración. El drenaje es el resultado de las propiedades hidráulicas del perfil del suelo, de la profundidad del nivel freático y de la posición en el paisaje. En cuanto al riego, interesan las cantidades de agua aplicar, el método y la frecuencia.

La mayor parte de las sales en aguas superficiales y subterráneas, y en la solución del suelo, son combinaciones de los cationes Ca^{++} , Mg^{++} y Na^+ , y de los aniones HCO_3^- , Cl^- y SO_4^{--} . En algunos suelos con fuertes aplicaciones de fertilizantes, el anión NO_3^- puede acumularse también en concentraciones significativas en la solución del suelo. La principal fuente natural de las sales predominantes es la meteorización

de los minerales en la corteza terrestre, la lluvia en zonas costeras, y la disolución de sales fósiles en algunas formaciones geológicas de origen marino. Con la intervención del hombre hay aportes adicionales de sales con las aguas de riego, con las aguas residuales y con la fertilización. Las diferencias en cantidades y tipos de sales acumuladas en la solución del suelo dan como resultado "suelos afectados por sales" con diferentes propiedades químicas, físicas y fisico-químicas, los cuales a su vez tienen diferentes requerimientos de manejo tanto para la prevención de su desarrollo como para su uso y recuperación.

Basados en sus principales efectos sobre suelos y cultivos, la mayor parte de los "suelos afectados por sales" pueden clasificarse en "**suelos salinos**" y en "**suelos sódicos**". Además hay otros tipos de suelos afectados por sales con procesos de desarrollo y propiedades muy particulares, como son los "suelos salino-ácidos" (Pla y Florentino, 1983). Tradicionalmente los "suelos sódicos" han sido llamados "suelos alcalinos", refiriéndose a los suelos con presencia y acumulación de bicarbonatos y carbonatos de Na, y pH > 8,5-9. Sin embargo hay otros suelos con propiedades de "suelos sódicos", pero con pH inferiores y menores niveles relativos de Na que los llamados "suelos alcalinos" (Pla, 1988).

Los "**suelos salinos**" son aquellos en que el contenido de sales y la presión osmótica de la solución del suelo no permiten la absorción por el cultivo de una gran parte del agua del suelo, sin efectos negativos directos de las sales en las propiedades físicas del suelo. La principal consecuencia es una reducción parcial o total en el crecimiento de las plantas debido a déficits fisiológicos de agua. Para fines prácticos, la concentración de sales se expresa en unidades de "conductividad eléctrica" (dS/m: deciSiemen/metro a 25°C) en el extracto de saturación del suelo (USDA, 1954). Un dS/m es aproximadamente equivalente a una concentración de sales en solución de 10 meq/l y a una presión osmótica de 36 Kpascales.

Es bien conocido que el stres de la humedad del suelo para las plantas es un resultado de stres mátrico (negativo del potencial mátrico), el

cual se incrementa cuando disminuye la humedad del suelo, y de un stres osmótico, el cual aumenta al incrementarse la salinidad en la solución del suelo. Ambos streses son más o menos aditivos, y por lo tanto un sistema para reducir los efectos de la salinidad será mantener el stres mátrico lo más bajo posible, a través de riegos muy frecuentes o continuos (Pla, 1996). Otra alternativa es la de sembrar cultivos más tolerantes a las sales, los cuales sean capaces de crecer y producir rendimientos económicos aún a altos streses de humedad del suelo, a través de ajustes en sus tasas de transpiración o en la presión osmótica de sus células. Frecuentemente los efectos de la salinidad sobre los cultivos sólo son visibles después que han habido fuertes descensos en los rendimientos cosechables. Este efecto gradual de la salinidad en el rendimiento puede ser calculado (Mass y Hoffman, 1977):

$$R/R_{\text{máx.}} = 1 - b (CE_{\text{es}} - CE_{\text{es máx.}})$$

donde: R=Rendimiento con la salinidad CE_{es} ; $R_{\text{máx.}}$ =Rendimiento en un suelo no salino; CE_{es} =Conductividad eléctrica en el extracto de saturación del suelo; $CE_{\text{es máx.}}$ =Conductividad eléctrica en el extracto de saturación cuando R comienza a disminuir= intercepto en el eje y de la línea recta que relaciona $R/R_{\text{máx.}}$ y CE_{es} ; b: pendiente de la línea que relaciona $R/R_{\text{máx.}}$ con CE_{es} , la cual es característica para cada combinación de cultivo, clima y manejo del riego.

En algunos casos, como consecuencia de la acumulación selectiva de ciertos elementos específicos como cloro, sodio, boro, etc en la solución del suelo, se presentan problemas nutricionales específicos o efectos tóxicos, precediendo o asociados a los efectos más generales del stres osmótico. Estos efectos son específicos para ciertos cultivos sensibles, y deben ser considerados como tales en la evaluación de los procesos de salinización de los suelos.

El desarrollo de "suelos salinos" es más común en climas áridos y semiáridos, con LPC <120 días (ver cuadro 1). Los métodos de prevención y recuperación de estos suelos se basan

Cuadro 1. Condiciones para el desarrollo potencial de salinidad o sodicidad en suelos bajo riego.

Condiciones				
AGUA DE RIEGO				
Concentración:	(Alta)	(Mediana)	(Baja)	
CE:	<u>> 2dS/m</u>	<u>1-2 dS/m</u>	<u>< 1dS/m</u>	
Composición:	<u>Cl>S>B</u> <u>Na≥CA</u>	<u>S≥Cl>B</u> <u>CA>Na</u>	<u>B≥S>Cl</u> <u>CA ≥ Na</u>	<u>B>S>Cl (B>CA)</u> <u>Na ≥ CA</u>
DRENAJE	(Variable)	(Muy restringido)	(Restringido)	
Perm. Suelo (I):	1-50 mm/hora	< 1 mm/hora	< 5 mm/hora	
Prof. Freática (#):	<u>< 1,5 m</u>	<u>< 0,5 m</u>	<u>< 1,0 m</u>	
CLIMA	(Ar. - SAr. S)	(Ar.-SAr.S)	(SAr.S.-SH.)	(Ar.-SAr.H)
IDA (P/ETP):	< 0,5	< 0,5	0,5-1	< 0,8
LPC (P>(ETP/2)):	<u>< 120 días</u>	<u>< 120 días</u>	<u>120-270 días</u>	<u>< 180 días</u>
Problema resultante				
SOLUCIÓN DEL				
SUELO (ES)	(Muy salina)	(Med.salina)	(Lig.salina)	(Var.salin.)
Concentración(CE):	<u>> 8 dS/m</u>	<u>> 4 dS/m</u>	<u>< 4 dS/m</u>	<u>> 2 dS/m</u>
Composición:	<u>Cl>>S>>B</u> <u>Na>CA</u>	<u>Cl≥S>>B</u> <u>Na≥CA</u>	<u>S>Cl>B</u> <u>Na>CA</u>	<u>(*)S≥B>Cl</u> <u>Na>>CA</u>
pH:	< 8,5	< 8,5	> 7,5	> 8,5
SALES PRECIP:	CAC + CaS	CAC + CaS	CAC	CAC
PROBLEMA				
POTENCIAL:	"SALINIDAD"		"SODICIDAD"	
Cl, S, B, Na, Ca, CA: Cloruros, sulfatos, bicarbonatos, Na, Ca, y (Ca+Mg) respectivamente, en el agua de riego o en el extracto de saturación (ES) del suelo; CAC, CaS: Carbonatos de (Ca+Mg) y sulfato de Ca respectivamente, que precipitan en el suelo; CE: Conductividad eléctrica; I: Velocidad de infiltración; IDA: Índice de disponibilidad de agua = Precipitación efectiva (P)/Evapotranspiración potencial /ETP) en el año; LPC: Longitud de período de crecimiento = Días con precipitación (P) mayor que la ½ de la ETP y con temperaturas medias superiores a 5° C; Climas: Árido (Ar.)(LPC<74 días), Semi-Árido Seco (SAr.S)(LPC 75-119 días), Semi-Árido Húmedo (SAr.H)(LPC 120-179 días), Sub-Húmedo (SH)(LPC 180-270 días). (#) Nivel freático permanente o presencia de estratos que impidan o restrinjan el drenaje interno (*) Cambio de composición bajo condiciones anaeróbicas (2Na ⁺ + SO ₄ ²⁻ + 2C + 2H ₂ O = S ²⁻ + 2NaHCO ₃)				

en el lavado del exceso de sales acumuladas, tomando máxima ventaja de los excesos temporales estacionales de agua de lluvia, y aplicando más agua de riego que los requerimientos del cultivo. Dependiendo de las circunstancias, este lavado puede buscar solamente el desplazamiento de las sales a profundidades en el perfil del suelo fuera del alcance de las raíces de las plantas, o su eliminación definitiva en las aguas de drenaje profundo. La primera alternativa requiere de un control muy cuidadoso en el manejo del agua de riego y del nivel freático, para evitar que las sales puedan regresar al suelo superficial. En algunos casos, el lavado de los "suelos salinos" puede resultar en el desarrollo de "suelos sódicos", como consecuencia de la composición de las sales en el suelo original o en el agua utilizada para el lavado, y de la textura y mineralogía del suelo, lo cual debe ser evaluado con antelación. Si ese es el caso, la recuperación debe seguir algunas de las prácticas recomendadas para la recuperación de suelos sódicos.

Los "suelos sódicos" incluyen aquellos donde la acumulación de altos niveles de Na, a veces acompañado de Mg, tanto en solución como intercambiable, en relación a los niveles de Ca+Mg y salinidad total, provoca un deterioro de sus propiedades físicas. Las principales consecuencias son reducciones drásticas tanto en la conductividad hidráulica saturada del suelo como en la velocidad final de infiltración. En la práctica ha resultado muy conveniente expresar los niveles de "sodificación" del suelo en valores de la "relación de adsorción de sodio" (RAS) en el extracto de saturación (ES) del suelo (USDA, 1954):

$$RAS_{ES} = Na_{ES} / (Ca_{ES} + Mg_{ES})^{1/2}$$

donde Na_{ES} , Ca_{ES} y Mg_{ES} son las concentraciones de estos elementos en el extracto de saturación del suelo en milimoles / litro.

Los efectos sobre las propiedades físicas del suelo están en ciertos casos relacionados con la dispersión de partículas de arcilla o limo en el suelo superficial. Esto produce un rápido sellado

de la superficie del suelo, y con el tiempo puede llevar a un taponado completo e irreversible de los poros por las partículas dispersas en una capa de suelo cercana a la superficie, la cual es casi impermeable al agua, y extremadamente compacta y dura al secarse. Estos efectos son más frecuentes en suelos con altos contenidos de limo y arcillas poco expandibles (micas hidratadas, caolinita) que pueden dispersarse a bajos niveles relativos (5-8 %) de sodio intercambiable, siempre que la salinidad de la solución del suelo superficial y del agua percolante se mantengan muy bajas (Pla, 1988).

En otras ocasiones, los efectos perjudiciales sobre las propiedades físicas de los suelos también incluyen el bloqueo de los poros por hinchamiento reversible de las arcillas al humedecerse. Esto requiere unos mayores niveles (10-15 %) de sodio intercambiable, y la presencia de arcillas expandibles, y va acompañado generalmente de altos valores de pH y de acumulación de sales (bicarbonatos y carbonatos de sodio) con hidrólisis alcalina. Estos suelos se corresponden con los que tradicionalmente han sido llamados "suelos alcalinos", y en algunos casos "suelos alcalinos negros", debido a la dispersión y deposición en superficie de materia orgánica del suelo. Cuando la superficie de estos suelos se seca y desaparece el efecto de hinchamiento, generalmente se desarrollan grietas profundas y una estructura prismática o columnar. Niveles altos de salinidad en la solución del suelo, o en el agua percolante, disminuyen los efectos de dispersión y de hinchamiento del sodio intercambiable. Por lo tanto, los efectos de la salinidad y del sodio conducentes a efectos de sodicidad dependen principalmente del contenido y naturaleza de la fracción arcilla del suelo, y del tipo de efectos predominantes (dispersión o hinchamiento).

Los principales efectos negativos de los suelos sódicos sobre los cultivos se deben a descensos en la infiltración y almacenamiento de agua en el suelo, a incrementos en la humedad del suelo en el punto de marchitamiento, a un desarrollo de raíces muy superficial y poco

denso, y a largos períodos de aireación deficiente del suelo. Todos estos efectos generalmente conducen en forma indirecta a restricciones en la suplencia de agua y nutrientes al cultivo. En algunos casos la máxima cantidad de agua que puede infiltrar en el suelo es incluso menor que la evapotranspiración potencial acumulada de las plantas (Pla, 1996), lo que hace imposible incluso su supervivencia. Algunos efectos adicionales se deben a diferentes problemas nutricionales provocados por el deficiente desarrollo radicular y los altos pH. También es frecuente que muchos suelos sódicos se transformen a la larga en salinos, debido a que la muy deficiente permeabilidad no permite un efectivo lavado de las sales que continuamente se incorporan con las aguas de riego.

Por todas las condiciones antes señaladas, la utilización de suelos sódicos está generalmente restringida a cultivos como el arroz o algunas cultivos herbáceos, que pueden desarrollarse en condiciones de anegamiento casi continuo. Su recuperación, y en muchos casos también las medidas de prevención de su desarrollo, requieren generalmente del uso de enmiendas químicas previo a su lavado. Estas enmiendas son principalmente sales ácidas de Ca ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), y productos ácidos o formadores de ácidos (H_2SO_4 ; $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$; S; FeS_2), los cuales pueden ser agregados al agua de riego o directamente al suelo superficial. El Ca de la enmienda aplicada, o de los carbonatos de Ca precipitados en el mismo suelo y disueltos por los productos ácidos, reemplazan al sodio intercambiable, el cual debe ser posteriormente lavado del suelo. Para que dicho lavado sea efectivo, se requiere incrementar las tasas de infiltración y de percolación de agua en el suelo a valores superiores que las tasas de evaporación del agua. También es posible recuperar más lentamente suelos sódicos que contengan carbonatos de Ca y Mg precipitados, utilizando cultivos, solos o conjuntamente con enmiendas químicas (Chhabra y Abrol, 1977; Sandhu y Abrol, 1981; Abrol y col, 1988). Los cultivos

utilizados (arroz y cultivos herbáceos, a veces combinados con especies forestales) tienen que ser tolerantes a altos niveles de sodio intercambiable, y además deben ser capaces de resistir condiciones prolongadas de exceso de humedad, y moderados niveles de salinidad. Estos sistemas pueden conducir a una continua y gradual disminución de la sodicidad, a través de la liberación de Ca de los carbonatos precipitados en el suelo, por incremento de la producción y retención (restricción en la difusión) de CO_2 en la solución del suelo, y por la mejora de las propiedades hidrológicas del suelo, todo ello derivado del desarrollo y actividad de los sistemas radiculares de los cultivos señalados.

Puede concluirse que no hay límites precisos de niveles de sales o de sodio para clasificar un suelo como salino o sódico, y que los límites propuestos en el pasado (USDA, 1954) y utilizados muchas veces en forma indiscriminada, sólo sirven como una referencia general, pero nunca para guiar prácticas específicas de manejo del riego o de recuperación. Los valores críticos pueden ser muy variables, dependiendo de las diferentes combinaciones particulares de suelo, clima, cultivo y manejo. Los mismos factores de variabilidad existen en las posibilidades de prevención y recuperación de suelos salinos y sódicos. En el cuadro 1 se presentan las principales condiciones generales que pueden conducir al desarrollo de diferentes tipos de suelos salinos y sódicos. Adicionalmente, algunas condiciones específicas previas al riego, como la presencia de sales fósiles a poca profundidad en el perfil del suelo, o en aguas freáticas poco profundas, pueden también influir en el tipo y grado de salinización del suelo.

METODOLOGÍA DISPONIBLE PARA LA CARACTERIZACIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS PROBLEMAS DE SALINIDAD ACTUAL

Entre los métodos disponibles y propuestos para la caracterización y evaluación de la

salinidad del suelo en un momento dado destacan los siguientes (USDA, 1954; Rhoades e Ingvalson, 1971; Nadler y Frenkel, 1980; Rhoades, 1982; Yadau y col, 1979; Dalton y van Genuchten, 1985; Rhoades, 1988):

- Muestras de suelo, en las que se pueden medir parámetros físicos, cationes intercambiables, y concentración y composición de sales solubles en suspensiones suelo:agua (1:1, 1:2, 1:5) y en extractos acuosos a diferentes relaciones suelo:agua (extracto saturado, 1:1, 1:2, 1:5). El extracto de saturación se utiliza generalmente como base para la interpretación de niveles de salinidad, y para expresar los valores de tolerancia de los cultivos a la salinidad.

- Muestras de la solución del suelo, recolectadas "in situ", generalmente con copas porosas y extractores al vacío. Permite medir concentración y composición de las sales en la solución del suelo en condiciones naturales, sólo a altos contenidos de humedad.

- Sensores de salinidad en bloques porosos, los cuales se entierran directamente en el suelo, absorbiendo y equilibrándose con el agua del suelo. Son útiles para seguir los cambios de salinidad total en lugares específicos, pero tardan mucho tiempo en alcanzar equilibrio y son poco precisos en suelos más secos.

- Sondas o sistemas con electrodos, los cuales se instalan directamente en el suelo, midiendo la resistencia al flujo de corriente eléctrica entre un par de electrodos mientras se provoca el flujo de corriente a través del suelo entre otro par de electrodos. Mide la salinidad total (conductancia eléctrica específica del conjunto de las tres fases (sólida, líquida y gaseosa) del suelo) "in situ", en volúmenes de suelo mayores que con otros métodos. Presenta problemas de calibración, y sólo sirve para un diagnóstico general de la salinidad de un área, y para guiar muestreos más detallados.

- Sensores de inducción electromagnética, que a través de la imposición de un campo electromagnético primario dentro del suelo inducen un flujo de corriente y un campo electromagnético secundario en el mismo suelo, el

cual es directamente proporcional a la conductividad eléctrica del suelo. Permite hacer mediciones de salinidad total desde la misma superficie del suelo, pero presenta problemas de calibración para diferentes suelos y diferentes contenidos de humedad.

- TDR (reflectometría en el dominio del tiempo), que permite deducir la constante dieléctrica parente y la conductividad eléctrica del suelo en su conjunto a partir del tiempo que le toma a un pulso electromagnético de alta frecuencia para pasar a través del suelo guiado por un par de varillas o sondas paralelas de determinada longitud, insertadas en el suelo, y la atenuación del voltaje de dicho pulso, respectivamente. Tiene la ventaja de permitir medir simultáneamente y con registro continuo, humedad y salinidad total directamente en el campo y a diferentes profundidades, pero aún está en fase de prueba y perfeccionamiento en cuanto a las mediciones de salinidad.

Tomando en consideración las limitaciones aún existentes en los instrumentos de campo actualmente disponibles en el mercado para medir salinidad "in situ" (requerimientos de calibración de relaciones entre CE(suelo) y CE(solución del suelo) para cada suelo; influencia de las variaciones en humedad del suelo en el momento de la medición; dificultades para discriminar con precisión la profundidad de las diferentes mediciones; experiencias limitadas en el campo; costos), proponemos por ahora (mientras se logran resolver algunas de las limitaciones señaladas de los equipos actualmente disponibles en el mercado) utilizar la siguiente metodología, la cual resulta más práctica, más barata, e incluso más precisa para evaluar la salinidad en el campo. Ella consiste en preparar suspensiones suelo:agua aproximadamente 1:1 (utilizando una muestra disgregada de suelo de aproximadamente 100 g, la cual se mide "volumétricamente" en un pequeño recipiente de plástico de boca ancha y a la que se agregan 100 cc de agua destilada o de muy baja salinidad, para posteriormente mezclar bien mediante agitación el suelo y el agua), en

las que se mide salinidad total (CE 1:1), y si es posible pH, mediante equipos sencillos de campo disponibles en el mercado. Las muestras de suelo se van obteniendo siguiendo un patrón regular, o en puntos seleccionados, según sea el objetivo, desde la superficie y a diferentes profundidades, utilizando un barreno adecuado. La salinidad (CE) del extracto saturado (CE_{es}) puede deducirse aproximadamente:

$$CE_{es} \text{ (dS/m)} = f(d) \cdot CE \text{ (1:1) (dS/m)}$$

si no hay yeso precipitado en el suelo

$$CE_{es} \text{ (dS/m)} = f(d) \cdot (CE \text{ (1:1)} - 2) + 2 \text{ (dS/m)}$$

si hay yeso precipitado en el suelo

(f(d): factor de dilución (1,5 ; 2,0 ; 3,0 para suelos arenosos, francos y arcillosos respectivamente))

USO DE INDICES Y MODELOS DE SIMULACIÓN PARA LA EVALUACIÓN PREDICTIVA DE PROCESOS DE SALINIZACIÓN

La salinización secundaria inducida por el hombre se debe principalmente a un manejo no adecuado del agua (riego y drenaje) en relación a cada combinación particular de clima, suelo, cultivo, prácticas de fertilización, nivel freático y salinidad de sus aguas, calidad del agua de riego, y sistema de riego. Aunque hoy en día se conocen métodos y hay las posibilidades tecnológicas para recuperar suelos ya afectados por sales, raramente dichas recuperaciones pueden justificarse desde un punto de vista estrictamente económico. Incluso cuando las condiciones socioeconómicas provean dicha justificación, se presentan generalmente dificultades derivadas de la escasez de agua de buena calidad para el lavado, o de problemas potenciales de contaminación de otras aguas superficiales o subterráneas. Por lo tanto resulta más conveniente, cuando ello aún es posible, preestablecer a través del uso de índices y modelos predictivos adecuados, cuáles serían las mejores alternativas de manejo del agua de

riego y drenaje para evitar y controlar los problemas de salinización para cada combinación particular, actual o hipotética, de clima, suelo y agua de riego disponible. Esto aún resulta más evidente cuando hay una alta competencia por los recursos hídricos de buena calidad, cuando la calidad del agua disponible es baja, y cuando es necesario reducir a un mínimo los efluentes de agua de drenaje salina o contaminada.

La evaluación predictiva de los problemas de salinización no es fácil, debido a que las condiciones hidrológicas, químicas y fisicoquímicas con influencia en los procesos de desarrollo de suelos afectados por sales suelen ser complicadas y difícilmente controlables. Ello obliga a simplificar algunas de ellas para que los índices y modelos resultantes sean de posible utilización en la práctica.

Hay que partir del principio de que no es posible controlar la salinización de los suelos bajo riego sin un adecuado lavado de las sales y drenaje del agua de lavado, lo que a su vez requiere de un flujo neto de agua por debajo de la zona radicular del suelo. Es por ello que los índices y modelos de predicción deben basarse en la llamada “**fracción de lavado**” (L), la cual integra en un sólo número los balances actuales o requeridos de agua y sales. Este concepto, introducido originalmente en 1954 (USDA, 1954), como una expresión cuantitativa del lavado requerido para controlar la salinidad total del suelo por debajo de algún nivel crítico, se ha ido precisando más a través de los años (Pla, 1968, 1983, 1988, 1996; Rhoades, 1968, 1984; Pla y Dappo, 1975; FAO, 1976), y se ha extendido a la predicción de sodicidad del suelo. Estas mejoras han sido posibles gracias a un mejor conocimiento de las relaciones entre el riego, el drenaje y la salinidad, tomando en consideración en algunos casos las posibilidades de precipitación o disolución en el suelo de sales de solubilidad limitada (yeso y carbonatos de Ca y Mg), y las posibilidades de sodificación además de las de salinización. Esto ha permitido precisar y corregir errores que se estaban y están cometiendo en el cálculo de requerimien-

tos de riego y drenaje y en la planificación de las prácticas para cumplir con dichos requerimientos, al no evaluar y predecir adecuadamente dichos procesos. En cuanto a los niveles freáticos, la posibilidad de que las sales de las aguas subterráneas alcancen la superficie del suelo o la zona radicular por ascenso capilar o difusión, puede evitarse con un manejo adecuado del riego y drenaje, que no permitan su ascenso a niveles críticos y mantengan un flujo neto de agua hacia abajo en el suelo. Por ello, los problemas derivados del ascenso de los niveles freáticos debe verse más bien como una consecuencia del manejo del agua de riego que como una variable independiente que cause problemas de manejo del agua.

En el pasado, y aún hoy en día se siguen utilizando frecuentemente tablas de valores empíricos (USDA, 1954) para describir la calidad y posible utilización de aguas de riego bajo condiciones hipotéticas promedio. Conscientes de la insuficiencia de estos criterios genéricos para predecir y prevenir los problemas de salinización para cada caso particular, se han ido desarrollando diferentes índices y modelos para corregir dicha situación. Prácticamente todos ellos se basan en el cálculo e interpretación de los valores de requerimiento de lavado, utilizando diferentes criterios más o menos racionales o empíricos. Entre ellos destacan:

- **USSL60** (USDA, 1954): Concepto básico de requerimientos de lavado ($RL = H_d/H_r = ST_r/ST_{es}$), sin consideración de los posibles cambios en la composición y concentración de la solución del suelo derivados de precipitación y disolución de sales, y del intercambio iónico.

- **FAO76** (Rhoades 1972; FAO, 1976): Para salinidad total se asume que el cultivo responde a promedio de salinidad en la zona radicular y no a extremos. Estos extremos se asumen iguales al agua de riego (CE_r) en la superficie del suelo, y al agua de drenaje ($CE_d = CE_r / RL$) en la parte inferior de las raíces, para sistemas de riego que mantengan continuamente un flujo neto descendente de agua en

el suelo. Asumiendo un patrón de uso del agua de 40% en el _ superficial del sistema radicular, y de 30%, 20% y 10% en los cuartos que siguen, se calcula el requerimiento de lavado (RL):

Para riego convencional:

$$RL = CE_r / (5CE_{es} - CE_r)$$

(CE_{es} = CE para 10% de pérdida de rendimiento)

Para riego de alta frecuencia:

$$RL = CE_r / 2CE_{es}$$

(CE_{es} = CE máximo para pérdida total del cultivo)

(CE: Sales totales expresadas en conductividad eléctrica)

Como índice de sodio propone calcular una relación de adsorción de sodio ajustada a las posibilidades de disolución o precipitación de carbonato de Ca, dependiente de P_{CO_2} (presión parcial estimada de CO_2):

$$RAS(Aj.) = Na / (1 + (8,4 - pHc) \cdot (pK_2 - pKc) + p(Ca + Mg) + p(Alk))$$

pHc: pH calculado del agua de riego en contacto con $CaCO_3$ y en equilibrio con el CO_2 del suelo; p: -log; Alk: $CO_3^{2-} + HCO_3^-$; $pK_2 - pKc$: (pK_2 = 2da constante de disociación del H_2CO_3 , pKc = producto de solubilidad del $CaCO_3$)

- **FAO86** (Suárez, 1981; FAO, 1986): El cálculo de los requerimientos de lavado para control de sales totales es similar al FAO76. Cómo índice de Na se propone:

$$R_{Na}(Aj.) = Na / (1/2 CaX + Mg)^{1/2}$$

en el que la relación de adsorción de sodio (R_{Na}) viene corregida por posibles efectos de la precipitación o disolución de $CaCO_3$, dependiendo de la concentración total de sales y del pCO_2 . CaX representa el Ca en el agua aplicada modificado por la salinidad total del agua aplicada (ST_r), por la relación Bicarbonatos/Ca en meq/l, y por la presión parcial estimada de CO_2 ($pCO_2 = 0,007$ Atm.) en los primeros mm superficiales del suelo.

Rhoades (1983) propuso un programa de ordenador (WALSUIT), para calcular la composición y concentración de sales e iones a

cinco profundidades radicales (superficie, 1/4, 1/2, 3/4, y profundidad total de raíces), asumiendo también un patrón de uso del agua del 40, 30, 20 y 10%, y pCO_2 de 0,0007; 0,005; 0,015; 0,023 al incrementarse la profundidad. En la práctica resulta difícil predecir el patrón de distribución de las raíces y los cambios de salinidad con la profundidad de las raíces, por la cantidad de factores influyentes, entre ellos las prácticas y el manejo del riego, la profundidad del nivel freático, las propiedades hidrológicas y químicas del perfil del suelo, el clima, etc.

Suárez y col (1996) propusieron un modelo como "herramienta de manejo" para predecir la distribución de sales y sodio (solubles e intercambiables) con profundidad y tiempo. El modelo combina flujo saturado de agua variable, con producción (respiración de microorganismos y raíces) y transporte de CO_2 (en fase líquida y gaseosa), transporte de solutos, un submodelo genérico de crecimiento de plantas, y un modelo principal de química de Jones (reacciones equilibrio como complexación, intercambio de cationes y precipitación-disolución). Este modelo, como otros de naturaleza y complejidad similar, resulta muy difícil de aplicar por falta de la información requerida, y por la casi imposibilidad de precisar en la práctica las condiciones variables en tiempo y espacio que permitirían su aplicación.

Como una alternativa práctica a los anteriores índices y modelos, se presenta y propone el modelo "SALSODIMAR", el cual ha sido desarrollado como producto de sucesivas aproximaciones basadas en experiencias y validaciones acumuladas en diferentes zonas agroecológicas, durante los últimos treinta años (Pla, 1968; 1983; 1988; 1996; Pla y Dappo, 1977).

DESCRIPCIÓN DEL MODELO "SALSODIMAR"

El modelo "SALSODIMAR" (ver diagrama de flujo) se basa en un balance independiente de los iones más comunes en las aguas de

riego y en la solución del suelo, hasta alcanzar equilibrio, de acuerdo a la fracción efectiva lavado, y a las solubilidades máximas de las diferentes sales bajo diferentes condiciones. Para ello se toman en consideración los niveles críticos de salinidad y cloruros para diferentes cultivos y climas, y los niveles críticos de sodio para diferentes suelos y niveles de salinidad concurrentes. El modelo permite:

1) Prever las condiciones bajo las cuales se pueden desarrollar suelos afectados por sales tipo "salino", o tipo "sódico", y sus variantes (cuadro 1).

2) Predecir la acumulación de ciertos elementos como Cl, Na, Mg, etc., que pueden crear algunos problemas específicos.

3) Determinar bajo qué condiciones y en qué niveles se favorece la precipitación o disolución en el suelo de sales de solubilidad limitada (carbonatos de Ca y Mg, y sulfatos de Ca).

4) Calcular los requerimientos de agua de riego y de drenaje para control de la salinidad o sodicidad, en relación a los requerimientos de agua del cultivo en un clima determinado, y a partir de ellos deducir las alternativas más convenientes o posibles de manejo del agua de riego para cada suelo.

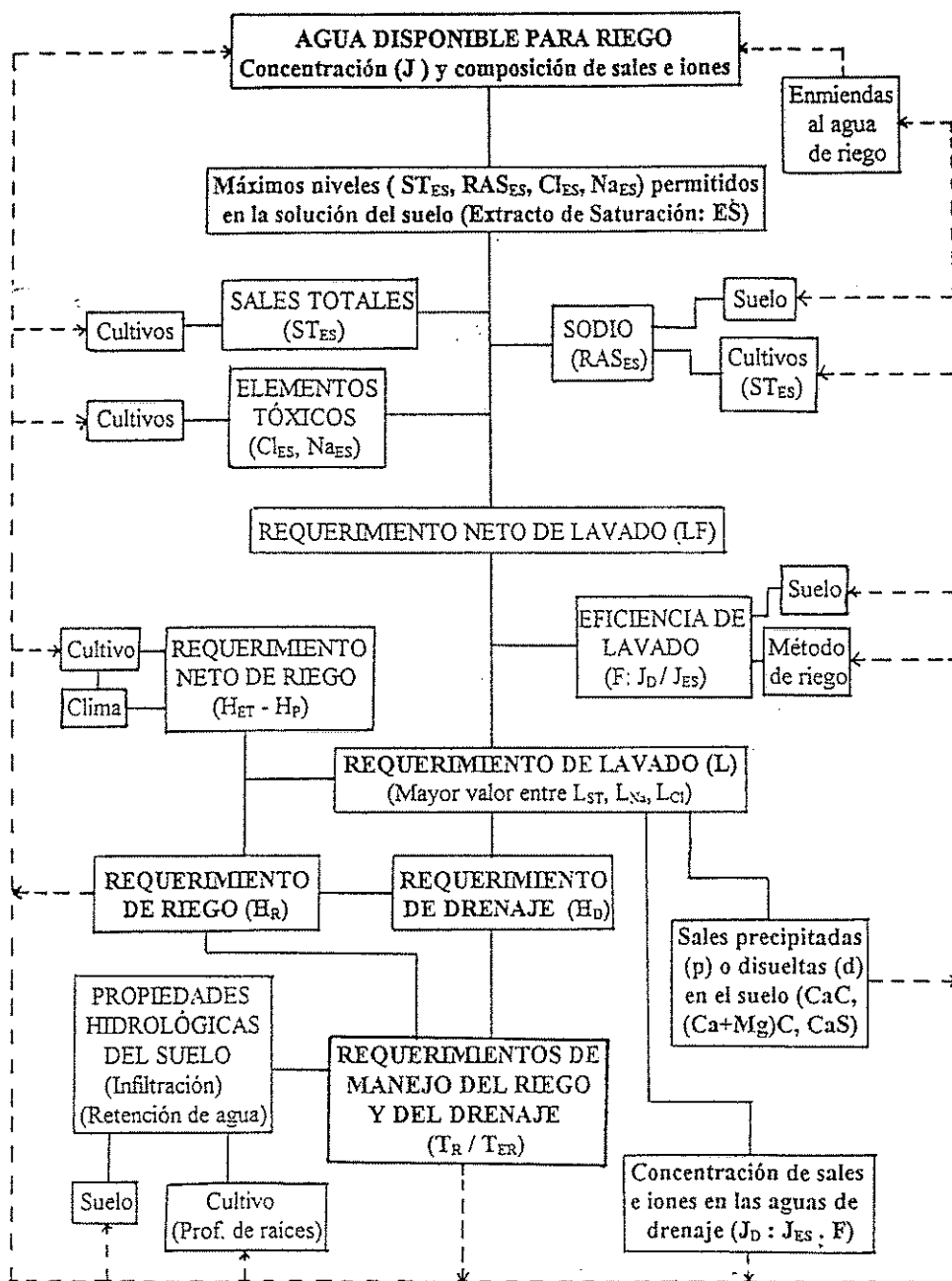
5) Cuando la simulación de unas condiciones dadas nos lleva a:

a) Requerimientos excesivos de agua de riego en relación a las tierras a regar

b) Requerimientos excesivos de drenaje en relación a la existencia, posibilidad y capacidad de sistemas naturales o artificiales de drenaje, y posibilidades de contaminación de aguas superficiales o subterráneas

c) Dificultades técnicas en el manejo del riego, derivadas de excesivos requerimientos de riego y drenaje, o de las propiedades hidrológicas del suelo

d) Niveles excesivos de sales o de elementos tóxicos en la aguas de drenaje que vayan a contaminar aguas superficiales o subterráneas a ser utilizadas con otros fines

DIAGRAMA DE FLUJO DEL MODELO "SALSODIMAR"

-----> Posibles alternativas de suelos, aguas de riego, enmiendas al agua de riego, cultivos y métodos de riego para diferentes requerimientos y limitaciones en el riego, drenaje y concentraciones de sales e iones en el agua de drenaje

el modelo permite prever:

a) Alternativas en cuanto a cambios o modificaciones (tratamientos, enmiendas) del agua de riego

b) Cambios en los cultivos buscando mayores tolerancias a sales y a algunos componentes en particular

c) Cambios, o uso de enmiendas, en los suelos utilizados para riego, buscando propiedades hidrológicas más favorables para el manejo del riego y del drenaje, y mayor resistencia a deterioro de ellas por efecto del sodio

Información requerida:

- Cationes y aniones más comunes en aguas de riego (meq/litro)

(Ca^{++} (Ca), Mg^{++} (Mg), Na^+ (Na), $\text{CO}_3^{--} + \text{HCO}_3^-$ (B), SO_4^{--} (S), Cl^- (Cl))

- Sales en el agua de riego ($\text{NaB} = \text{B} - \text{Ca} - \text{Mg}$ si $\text{NaB} > 0$; $\text{MgB} = \text{B} - \text{Ca} - \text{NaB}$ si $\text{MgB} > 0$; $\text{CaCl} = \text{Ca} - \text{B} - \text{S}$ si $\text{CaCl} > 0$; $\text{CaS} = \text{Ca} - \text{B} - \text{CaCl}$ si $\text{CaS} > 0$)

- Niveles críticos de sales totales (ST_{ES}).

cloruros (Cl_{ES}), sodio (Na_{ES}) u otros elementos tóxicos en el extracto de saturación del suelo (ES) para diferentes cultivos. Cuando los cálculos indiquen la posibilidad de precipitación de carbonato y sulfato de Ca en el suelo, los niveles críticos de ST_{ES} pueden incrementarse en 20 meq/l.

- Valores críticos de "Relación de Adsorción de Sodio" ($\text{RAS}_{\text{ES}} = \text{Na}_{\text{ES}} / ((\text{Ca}_{\text{ES}} + \text{Mg}_{\text{ES}})/2)^{1/2}$) en el extracto de saturación (ES) del suelo, para diferentes suelos y niveles concurrentes de ST_{ES} .

- Láminas mensuales, quincenales, diarias... de precipitación efectiva (H_p) y de evapotranspiración (H_{ET}) para cada clima, cultivo, variedad, etapa de desarrollo del cultivo... en mm

- Eficiencia de lavado ($F = \text{ST}_D / \text{ST}_{\text{ES}}$; $F = \text{Na}_D / \text{Na}_{\text{ES}}$) (D : agua de drenaje) para cada suelo y método de riego

- Características y propiedades de cada suelo:

a) Profundidad efectiva (R) en mm

b) Densidad aparente (DA) en g/cc

c) Capacidad de campo (CC) en g/cc

d) Infiltración básica (I) en mm/hora

Cálculos:

- Requerimientos netos de lavado para control de sales totales $\text{LF}(\text{ST})$, cloruros $\text{LF}(\text{Cl})$, y sodio $\text{LF}(\text{Na})$

- Concentraciones equilibrio (J) en el extracto de saturación del suelo (ES) de sales totales (ST_{ES}), sodio (Na_{ES}), calcio (Ca_{ES}), magnesio (Mg_{ES}), cloruros (Cl_{ES}) y bicarbonato de sodio (NaB_{ES})

- Carbonatos de calcio (CaC) y de calcio y magnesio ($(\text{Ca} + \text{Mg})\text{C}$), y sulfatos de calcio (CaS) precipitados (p) o de posible disolución (d) en el suelo

Si en el agua de riego: $\text{B} \leq (\text{Ca} + \text{Mg})$ (a)

$$\text{LF}(\text{ST}) = (\text{Na} + \text{Ca} + \text{Mg}) / (\text{ST}_{\text{ES}})$$

$$\text{LF}(\text{Cl}) = \text{Cl} / \text{Cl}_{\text{ES}}$$

$$\text{LF}(\text{Na}) = (2\text{Na}^2) / ((\text{RAS}_{\text{ES}}^2 \times (\text{Ca} + \text{Mg})))$$

$$\begin{aligned} \text{LF(a)} &= \text{LF(ST)} \quad \text{si} \quad \text{LF(ST)} > \text{LF(Cl)} \quad \text{y} \quad \text{LF(ST)} > \text{LF(Na)} \\ \text{LF(a)} &= \text{LF(Cl)} \quad \text{si} \quad \text{LF(Cl)} > \text{LF(ST)} \quad \text{y} \quad \text{LF(Cl)} > \text{LF(Na)} \\ \text{LF(a)} &= \text{LF(Na)} \quad \text{si} \quad \text{LF(Na)} > \text{LF(ST)} \quad \text{y} \quad \text{LF(Na)} > \text{LF(Cl)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Na}_{\text{ES}} &= \text{Na} / \text{LF(a)} & \text{Ca}_{\text{ES}} &= \text{Ca} / \text{LF(a)} & \text{Mg}_{\text{ES}} &= \text{Mg} / \text{LF(a)} & \text{Cl}_{\text{ES}} &= \text{Cl} / \text{LF(a)} \\ (\text{Ca} + \text{Mg})\text{Cd} &= 10 \text{ LF(a)} - \text{B} & \text{CaSd} &= 30 \text{ LF(a)} - \text{CaS} \end{aligned}$$

$$\text{Si: } 10 \text{ LF(a)} < \text{B} \quad \text{y} \quad 30 \text{ LF(a)} \geq \text{CaS} \quad (\text{b})$$

$$\begin{aligned} \text{LF(ST)} &= (\text{Na} + \text{Ca} + \text{Mg} - \text{B}) / (\text{ST}_{\text{ES}} - 10) \\ \text{LF(Cl)} &= \text{Cl} / \text{Cl}_{\text{ES}} \\ \text{LF(Na)} &= \frac{((\text{RAS}_{\text{ES}})^2 \times (\text{Ca} + \text{Mg} - \text{B})^2) + (80 \text{ Na}^2)^{1/2}}{20 \text{ RAS}_{\text{ES}}} - \frac{(\text{Ca} + \text{Mg} - \text{B})}{20} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{LF(b)} &= \text{LF(ST)} \quad \text{si} \quad \text{LF(ST)} > \text{LF(Na)} \quad \text{y} \quad \text{LF(ST)} > \text{LF(Cl)} \\ \text{LF(b)} &= \text{LF(Cl)} \quad \text{si} \quad \text{LF(Cl)} > \text{LF(ST)} \quad \text{y} \quad \text{LF(Cl)} > \text{LF(Na)} \\ \text{LF(b)} &= \text{LF(Na)} \quad \text{si} \quad \text{LF(Na)} > \text{LF(ST)} \quad \text{y} \quad \text{LF(Na)} > \text{LF(Cl)} \end{aligned}$$

$$\text{Na}_{\text{ES}} = \text{Na} / \text{LF(b)} \quad \text{Ca}_{\text{ES}} = \frac{10 (\text{Ca} + \text{Mg} - \text{MgB}) + (\text{CaS} + \text{CaCl})}{(\text{Ca} + \text{Mg}) \text{ LF(b)}}$$

$$\text{Mg}_{\text{ES}} = 10 + \frac{(\text{Ca} + \text{Mg} - \text{B}) - \text{Ca}_{\text{ES}}}{\text{LF(b)}} \quad \text{Cl}_{\text{ES}} = \text{Cl} / \text{LF(b)}$$

$$(\text{Ca} + \text{Mg})\text{Cp} = \text{B} - 10 \text{ LF(b)} \quad \text{CaSd} = 30 \text{ LF(b)} - \text{CaS}$$

$$\text{Si: } 10 \text{ LF(a)} < \text{B} \quad \text{y} \quad 30 \text{ LF(a)} < \text{CaS} \quad (\text{c})$$

$$\begin{aligned} \text{LF(ST)} &= (\text{Na} + \text{Mg} + \text{CaCl}) / (\text{ST}_{\text{ES}} - 40) \\ \text{LF(Cl)} &= \text{Cl} / \text{Cl}_{\text{ES}} \\ \text{LF(Na)} &= \frac{((\text{RAS}_{\text{ES}})^2 \times (\text{Mg} + \text{CaCl})^2) + (320 \text{ Na}^2)^{1/2}}{80 \text{ RAS}_{\text{ES}}} - \frac{(\text{Mg} + \text{CaCl})}{80} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{LF(c)} &= \text{LF(ST)} \quad \text{si} \quad \text{LF(ST)} > \text{LF(Cl)} \quad \text{y} \quad \text{LF(ST)} > \text{LF(Na)} \\ \text{LF(c)} &= \text{LF(Cl)} \quad \text{si} \quad \text{LF(Cl)} > \text{LF(ST)} \quad \text{y} \quad \text{LF(Cl)} > \text{LF(Na)} \\ \text{LF(c)} &= \text{LF(Na)} \quad \text{si} \quad \text{LF(Na)} > \text{LF(ST)} \quad \text{y} \quad \text{LF(Na)} > \text{LF(Cl)} \end{aligned}$$

$$\text{Na}_{\text{ES}} = \text{Na} / \text{LF(c)} \quad \text{Ca}_{\text{ES}} = 40 + (\text{CaCl} / \text{LF(c)}) \quad \text{Mg}_{\text{ES}} = \text{Mg} / \text{LF(c)}$$

$$\begin{aligned} \text{Cl}_{\text{ES}} &= \text{Cl} / \text{LF(c)} \\ (\text{Ca} + \text{Mg})\text{Cp} &= \text{B} - 10 \text{ LF(c)} & \text{CaSp} &= \text{CaS} - 30 \text{ LF(c)} \end{aligned}$$

Si: $10 \text{ LFa} \geq B$ y $30 \text{ LFa} < \text{CaS}$ (d)

$$\text{LF(ST)} = (\text{Na} + \text{Ca} + \text{Mg} - \text{CaS}) / (\text{ST}_{\text{ES}} - 30)$$

$$\text{LF(Cl)} = \text{Cl} / \text{Cl}_{\text{ES}}$$

$$\text{LF(Na)} = \frac{((\text{RAS}_{\text{ES}})^2 \times (\text{Ca} + \text{Mg} - \text{CaS})^2) + (240 \text{ Na}^2)^{1/2}}{60 \text{ RAS}_{\text{ES}}} - \frac{(\text{Ca} + \text{Mg} - \text{CaS})}{60}$$

$$\text{LF(d)} = \text{LF(ST)} \quad \text{si} \quad \text{LF(ST)} > \text{LF(Cl)} \quad \text{y} \quad \text{LF(ST)} > \text{LF(Na)}$$

$$\text{LF(d)} = \text{LF(Cl)} \quad \text{si} \quad \text{LF(Cl)} > \text{LF(ST)} \quad \text{y} \quad \text{LF(Cl)} > \text{LF(Na)}$$

$$\text{LF(d)} = \text{LF(Na)} \quad \text{si} \quad \text{LF(Na)} > \text{LF(ST)} \quad \text{y} \quad \text{LF(Na)} > \text{LF(Cl)}$$

$$\text{Na}_{\text{ES}} = \text{Na} / \text{LF(d)} \quad \text{Ca}_{\text{ES}} = 30 + ((\text{Ca} - \text{CaS}) / \text{LF(d)}) \quad \text{Mg}_{\text{ES}} = \text{Mg} / \text{LF(d)}$$

$$\text{Cl}_{\text{ES}} = \text{Cl} / \text{LF(d)}$$

$$(\text{Ca} + \text{Mg})\text{Cd} = 10 \text{ LF(d)} - B \quad \text{CaSp} = \text{CaS} - 30 \text{ LF(d)}$$

Si en el agua de riego: $B > (\text{Ca} + \text{Mg})$ (e)

$$\text{LF(ST)} = \text{Na} / (\text{ST}_{\text{ES}} - \text{Ca} - \text{Mg})$$

$$\text{LF(Cl)} = \text{Cl} / \text{Cl}_{\text{ES}}$$

$$\text{LF(Na)} = \text{Na} / (\text{RAS}_{\text{ES}} \times ((\text{Ca} + \text{Mg})/2)^{1/2})$$

$$\text{LF(e)} = \text{LF(ST)} \quad \text{si} \quad \text{LF(ST)} > \text{LF(Cl)} \quad \text{y} \quad \text{LF(ST)} > \text{LF(Na)}$$

$$\text{LF(e)} = \text{LF(Cl)} \quad \text{si} \quad \text{LF(Cl)} > \text{LF(ST)} \quad \text{y} \quad \text{LF(Cl)} > \text{LF(Na)}$$

$$\text{LF(e)} = \text{LF(Na)} \quad \text{si} \quad \text{LF(Na)} > \text{LF(ST)} \quad \text{y} \quad \text{LF(Na)} > \text{LF(Cl)}$$

$$\text{Na}_{\text{ES}} = \text{Na} / \text{LF(e)} \quad \text{Ca}_{\text{ES}} = \text{Ca} \quad \text{Mg}_{\text{ES}} = \text{Mg} \quad \text{Cl}_{\text{ES}} = \text{Cl} / \text{LF(e)}$$

$$\text{NaB}_{\text{ES}} = \text{NaB} / \text{LF(e)}$$

$$(\text{Ca} + \text{Mg})\text{Cp} = (\text{Ca} + \text{Mg}) \times (1 - \text{LF(e)})$$

- Concentraciones en las aguas de drenaje de sales totales (ST_D), cloruros (Cl_D), sodio (Na_D), calcio (Ca_D), magnesio (Mg_D),.....

$$\text{ST}_D = \text{ST}_{\text{ES}} \cdot F \quad \text{Cl}_D = \text{Cl}_{\text{ES}} \cdot F \quad \text{Na}_D = \text{Na}_{\text{ES}} \cdot F \quad \text{Ca}_D = \text{Ca}_{\text{ES}} \cdot F \quad \text{Mg}_D = \text{Mg}_{\text{ES}} \cdot F$$

- Requerimientos de riego (H_R) y requerimientos de drenaje (H_D) en mm/mes, mm/día....., para satisfacer necesidades del cultivo y controlar niveles de sales,

cloruros, sodio.....en la solución del suelo y aguas de drenaje por debajo de los niveles críticos preestablecidos

- Requerimientos de manejo de riego (T_R / T_{ER}) para cumplir con los requerimientos de riego y drenaje (H_R, H_D), deducidos de la relación entre duración del riego (T_R : tiempo en horas o días que tarda en infiltrar en el suelo el agua de cada riego) y el intervalo máximo entre riegos (T_{ER} en horas o días) para cada suelo (P, DA, CC e I).

$$L = LF / F$$

$$H_R = (H_{ET} - H_p) / (1 - L) \quad H_D = (L (H_{ET} - H_p)) / (1 - L)$$

$$T_R / T_{ER} = (H_{ET} - H_p) / (720 I (1-L)) \quad T_{ER} \leq T_{ER(max.)}$$

$$T_{ER(max.)} = (15 \times DA \times P \times CC) / (H_{ET} - H_p)$$

PROBLEMAS POTENCIALES DOMINANTES:

Si: $LF(ST) \geq LF(Cl)$ y $LF(ST) > LF(Na)$	SALINIDAD
Si: $LF(Cl) > LF(ST)$ y $LF(Cl) > LF(Na)$	TOXICIDAD CLORUROS
Si: $LF(Na) \geq LF(ST)$ y $LF(Na) \geq LF(Cl)$ $NaB_{ES} = 0$ y $Ca_{ES} \geq Mg_{ES}$	SODICIDAD
Si: $LF(Na) \geq LF(ST)$ y $LF(Na) \geq LF(Cl)$ $NaB_{ES} = 0$ y $Mg_{ES} > Ca_{ES}$	SODICIDAD - MAGNESIO
Si: $LF(Na) \geq LF(ST)$ y $LF(Na) \geq LF(Cl)$ $NaB_{ES} > 0$	SODICIDAD - ALCALINIDAD

LIMITACIONES:

AGUA DE RIEGO

Si: $H_R/H_{ET} > 1.5$	FUERTE LIMITACIÓN
Si: $H_R/H_{ET} = 1.2 - 1.5$	MODERADA LIMITACIÓN

Si: $H_R/H_{ET} < 1.2$ **SIN LIMITACIONES**

DRENAJE

Si: $H_D/H_{ET} > 0.30$ **FUERTE LIMITACIÓN**

Si: $H_D/H_{ET} = 0.10 - 0.30$ **MODERADA LIMITACIÓN**

Si: $H_D/H_{ET} < 0.10$ **SIN LIMITACIONES**

MANEJO DEL RIEGO

Si: $T_R/T_{ER} > 1.0$ **IMPOSIBLE**

Si: $T_R/T_{ER} = 0.5 - 1.0$ **RIEGO CONTINUO O POR INUNDACIÓN**

Si: $T_R/T_{ER} = 0.25 - 0.50$ **RIEGO DE ALTA FRECUENCIA**

Si: $T_R/T_{ER} < 0.25$ **RIEGO CONVENCIONAL**

RECOMENDACIONES ALTERNATIVAS O COMPLEMENTARIAS

Si: $T_R/T_{ER} > 1.0$ o $H_R/H_{ET} > 1.5$ **USAR: -SUELO MÁS PERMEABLE**
 y: $LF(ST) \geq LF(Na)$ **-CULTIVO MÁS TOLERANTE**
-AGUA MENOS SALINA

Si: $T_R/T_{ER} > 1$ o $H_R/H_{ET} > 1.5$ **USAR: -SUELO MÁS PERMEABLE**
 y: $LF(Na) > LF(ST)$ **-AGUA CON MENOS Na**
 y: $NaB_{ES} = 0$ **AGREGAR: -ENMIENDAS AL SUELO**

Si: $T_R/T_{ER} > 1.0$ o $H_R/H_{ET} > 1.5$ **USAR: -SUELO MÁS PERMEABLE**
 y: $LF(Na) > LF(ST)$ **-AGUA CON MENOS NaB**

y: $NaB_{ES} > 0$ **AGREGAR: -ENMIENDAS AL SUELO**
O AL AGUA DE RIEGO

Si: $H_D/H_{ET} > 0.30$
 y: $LF(ST) > LF(Na)$

USAR: -AGUA MENOS SALINA
 INSTALAR: -DRENAJE ARTIFICIAL

Si: $H_D/H_{ET} > 0.30$
 y: $LF(Na) \geq LF(ST)$
 y: $NaB_{ES} = 0$

USAR: -AGUA CON MENOS Na
 INSTALAR: -DRENAJE ARTIFICIAL

Si: $H_D/H_{ET} > 0.30$
 y: $LF(Na) \geq LF(ST)$
 y: $NaB_{ES} > 0$

USAR: -AGUA SIN NaB
 AGREGAR: -ENMIENDAS AL AGUA DE RIEGO
 INSTALAR: -DRENAJE ARTIFICIAL

EJEMPLO DE CÁLCULO Y APLICACIÓN

Para ilustrar el uso de índices y modelos predictivos, y en particular el modelo "SALSODIMAR", para evaluar los procesos de salinización en suelos bajo riego, se han seleccionado cuatro aguas de riego de diferentes características en cuanto a concentración y composición de sales en solución (Cuadro 2), para ser utilizadas en el riego de cultivos sensibles (ST_{ES} : 40 meq/l) y tolerantes (ST_{ES} : 120 meq/l) a las sales, en un suelo con valores críticos correspondientes de RAS_{ES} de 10 y 20 mmoles/l^{1/2}, respectivamente, con una eficiencia de lavado (F) de 0,6, y en un clima mediterráneo semiárido.

En las figuras 1-4 aparecen las relaciones entre fracciones efectivas de lavado (LF) calculadas según el modelo SALSODIMAR, y los correspondientes valores equilibrio de sales totales (ST_{ES}), cloruros (Cl_{ES}), y relación de adsorción de sodio (RAS_{ES}) en el extracto de saturación del suelo, y de sales precipitadas o de posible disolución, para las aguas de riego I, II, III y III(E). La figura 5 muestra cómo cambian los requerimientos de agua de riego (H_R) y drenaje (H_p) a medida que se incrementan las

fracciones de lavado (L), con fuertes incrementos a partir de valores de L de 0,5 que hacen impráctico en la mayoría de los casos superar ese valor. Las figuras 6-9 muestran los requerimientos de riego y drenaje en los diferentes meses del año para los valores de lavado efectivo (LF) limitantes calculados con el modelo "SALSODIMAR", para las aguas de riego I, II, III y III(E) y los valores críticos de salinidad (ST_{ES} : 40 y 120 meq/l) y sodicidad (RAS_{ES} : 10 y 20 mmoles/l^{1/2}) seleccionados. La figura 10 muestra las relaciones entre requerimientos de manejo de riego (T_R / T_{ER}) y los requerimientos de lavado (L) para diferentes combinaciones de tasa de infiltración de agua en el suelo (I) con el método de riego seleccionado, y requerimientos netos de riego ($H_{ET} - H_p$).

En la figura 11 se muestran los valores aproximados de requerimientos netos de lavado (LF) que resultarían de la aplicación de algunos de los índices y modelos de predicción más utilizados, y descritos anteriormente, en comparación con los calculados con el modelo "SALSODIMAR" (SSDIMAR), para las aguas de riego I y III, y para valores limitantes de ST_{ES} de 40 y 120 meq/l, y de RAS_{ES} de 10 y 20 mmoles/l^{1/2}. En general se observa que la apli-

Cuadro 2. Concentración y composición iónica de las sales presentes en aguas de riego seleccionadas

	meq/litro									
	<u>Na</u>	<u>Ca</u>	<u>Mg</u>	<u>Cl</u>	<u>S</u>	<u>B</u>	<u>NaB</u>	<u>MgB</u>	<u>CaCl</u>	<u>CaS</u>
I	11,5	5,6	3,9	9,7	4,5	6,7	0	1,1	0	0
II	2,1	9,0	3,1	1,4	10,3	2,3	0	0	0	6,7
III	2,0	1,0	1,0	1,0	0,5	2,5	0,5	1,0	0	0
III(E)	2,0	1,5	1,0	1,0	1,0	2,5	0	1,0	0	0
(III(E) es el agua III más una enmienda de yeso de 0,5 meq/litro o 43 g/m ³)										

cación del concepto original de requerimiento de lavado, sin considerar la posible precipitación de carbonatos de Ca y Mg y de sulfato de Ca, resulta en valores más altos de LF para control de sales totales, y valores inferiores de LF para control de sodicidad, especialmente en el caso del agua III con bicarbonato de Na. La utilización de los índices FAO76 y FAO86 para riego convencional y de alta frecuencia respectivamente, resulta siempre en valores mucho más bajos de LF para control de sales totales que aplicando SSDIMAR. Esto es debido principalmente a que SSDIMAR utiliza como base para el cálculo los valores equilibrio de sales totales en el extracto de saturación del suelo ($ST_{es} = ST_d / F$), mientras que en FAO76 y FAO86 los valores de sales totales en el suelo bajan mucho al promediar los de ST_d con la salinidad del agua de riego (ST_r), por asumir que esa será la condición a alcanzar siempre que con el manejo del riego se pueda mantener un flujo continuo neto de agua hacia abajo en el suelo. En cuanto a los valores de LF para control de sodicidad, el índice FAO76 da valores muy parecidos a los de SSDIMAR para el agua I, mientras que FAO86 da valores mucho más bajos, por considerar que con el manejo del riego antes señalado, el valor de RAS que se mantendrá cerca de la superficie del suelo será

parecido al del agua de riego. Tanto FAO76 como FAO86 dan valores de LF mucho más bajos que SSDIMAR para el control de sodicidad (RAS) en el caso del agua III, debido a que dichos índices no toman en consideración el efecto que tiene la acumulación de bicarbonato y carbonato de Na en la solución del suelo sobre el fuerte descenso en la solubilidad de los carbonatos de Ca y Mg.

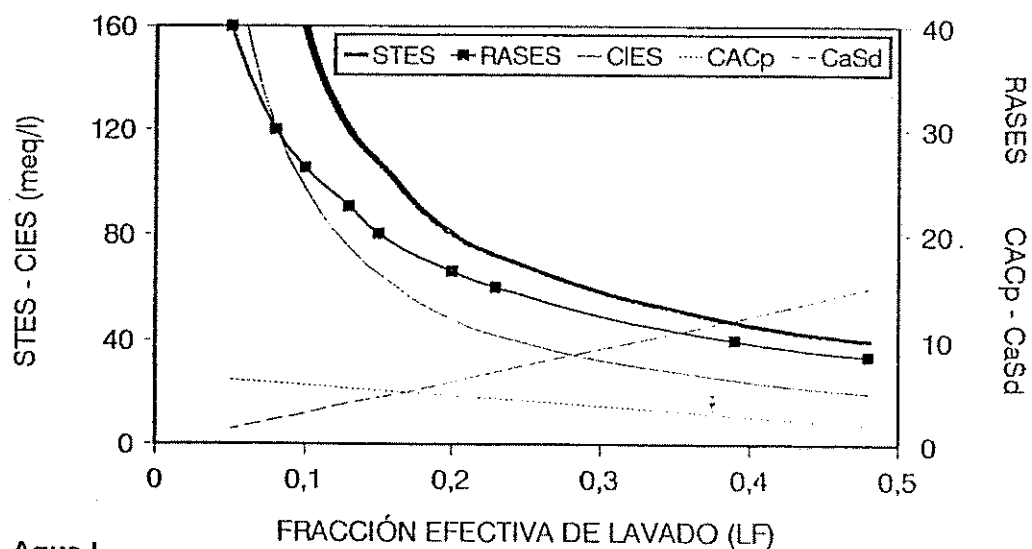
En base a la experiencia acumulada en la validación del modelo "SALSODIMAR", resultante de la comparación entre lo que se esperaría con su aplicación y los problemas de salinidad y sodicidad desarrollados, o en proceso de desarrollo, bajo muy diferentes condiciones agroecológicas y de manejo de riego, podemos concluir lo siguiente:

- El modelo "SALSODIMAR" resulta en todos los casos más seguro y eficiente en la evaluación y predicción de los procesos y problemas de sodicidad, en especial los derivados del uso de agua con altos contenidos o proporción de bicarbonatos de Ca y Mg, y de aguas conteniendo, aún en pequeñas cantidades, bicarbonato de Na.

- Los valores de requerimientos de lavado para control de sales totales calculados con "SALSODIMAR" están más acordes con la

Figura 1. Niveles equilibrio de sales totales (STES), de cloruros (CIES) y de relación de adsorción de sodio (RASES) en el extracto de saturación del suelo para diferentes fracciones efectivas de lavado (LF)

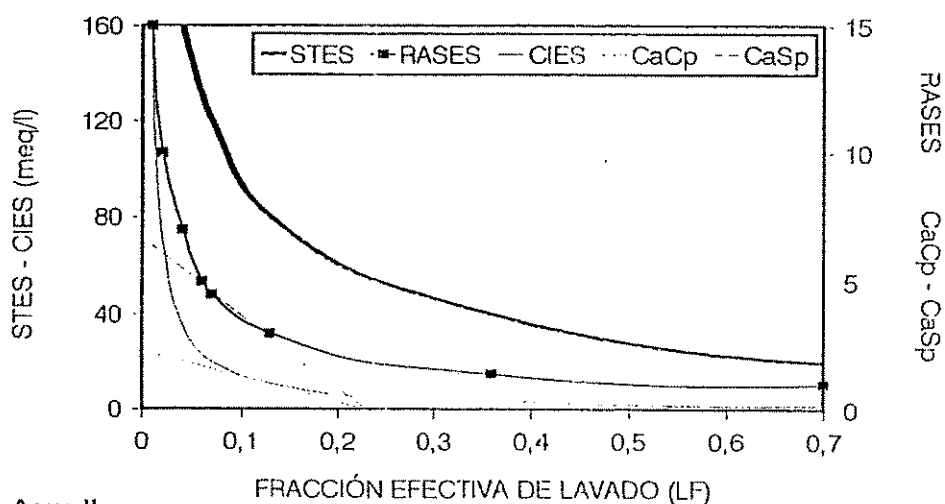
(CACp: carbonatos de Ca+Mg precipitados en meq/l de agua de riego; CaSd: disolución potencial de yeso en meq/l)



Agua I

Figura 2. Niveles equilibrio de sales totales (STES), de cloruros (CIES) y de relación de adsorción de sodio (RASES) en el extracto de saturación del suelo para diferentes fracciones efectivas de lavado (LF)

(CaCp: carbonato de Ca precipitado en meq/l de agua de riego; CaSp: yeso precipitado en meq/l de agua de riego)



Agua II

Figura 3. Niveles equilibrio de sales totales (STES), de cloruros (CIES) y de relación de adsorción de sodio (RASES) en el extracto de saturación del suelo para diferentes fracciones efectivas de lavado (LF)

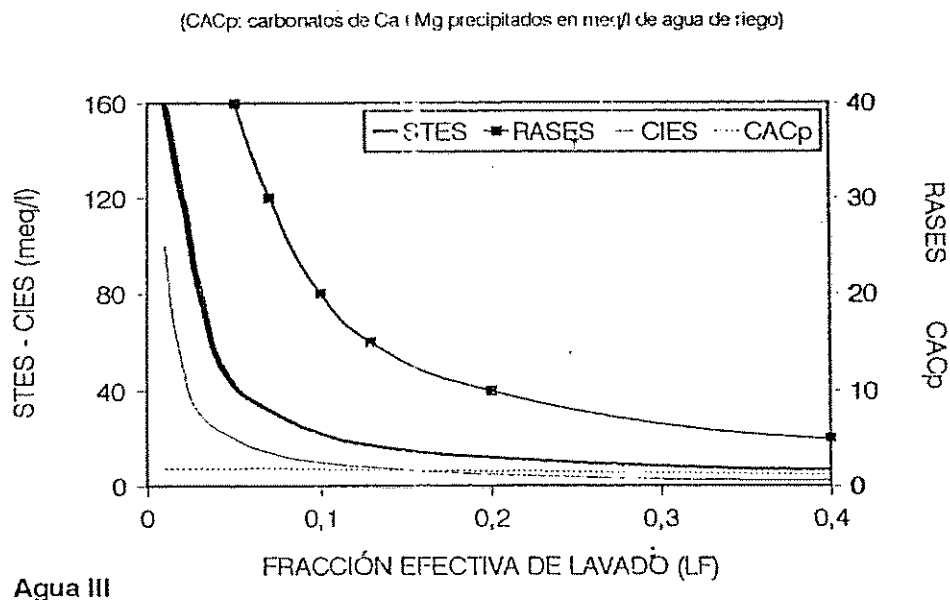


Figura 4. Niveles equilibrio de sales totales (STES), de cloruros (CIES) y de relación de adsorción de sodio (RASES) en el extracto de saturación del suelo para diferentes fracciones efectivas de lavado (LF)

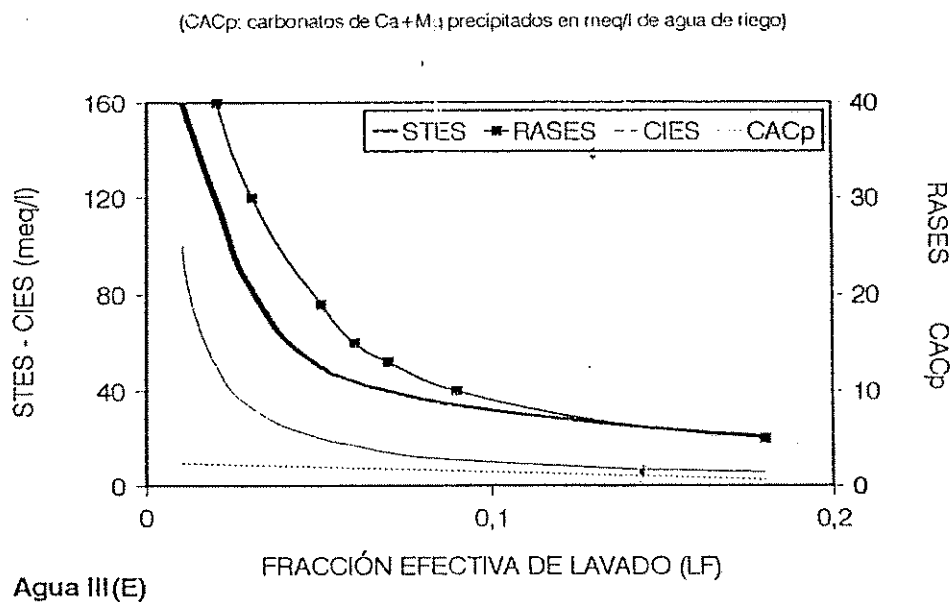


Figura 5. Requerimientos de agua de riego (HR), (en relación a la demanda neta de riego (HET-HP) para diferentes fracciones de lavado (L)

(HET: evapo-transpiración; HP: precipitación efectiva; HD: requerimiento de drenaje)

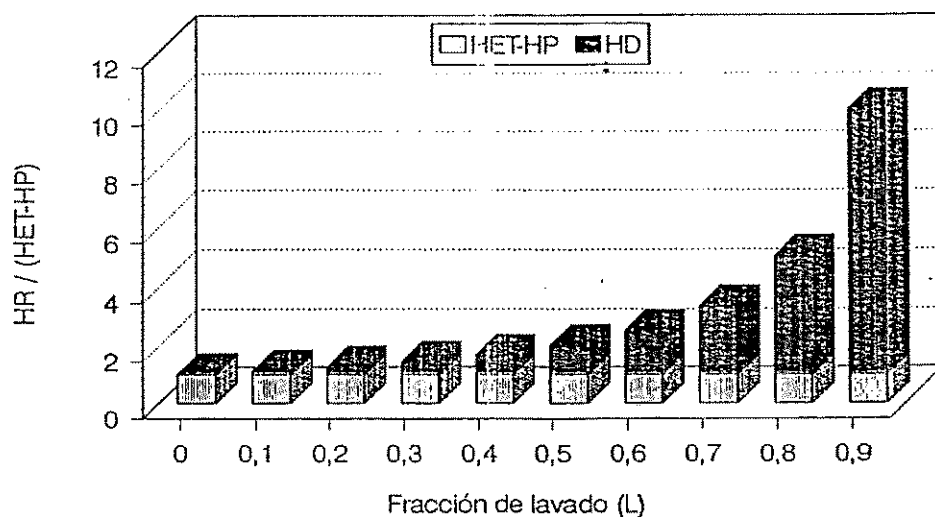


Figura 6. Requerimientos de riego (HR = HET-P+HD) y de drenaje (HD) para cultivos sensibles (STES: 40 meq/l) (HD40) y tolerantes (STES: 120 meq/l) (HD120) en un clima mediterráneo semiárido

AGUA I (LFST40 = 0,48; LFST120 = 0,13; F = 0,6)

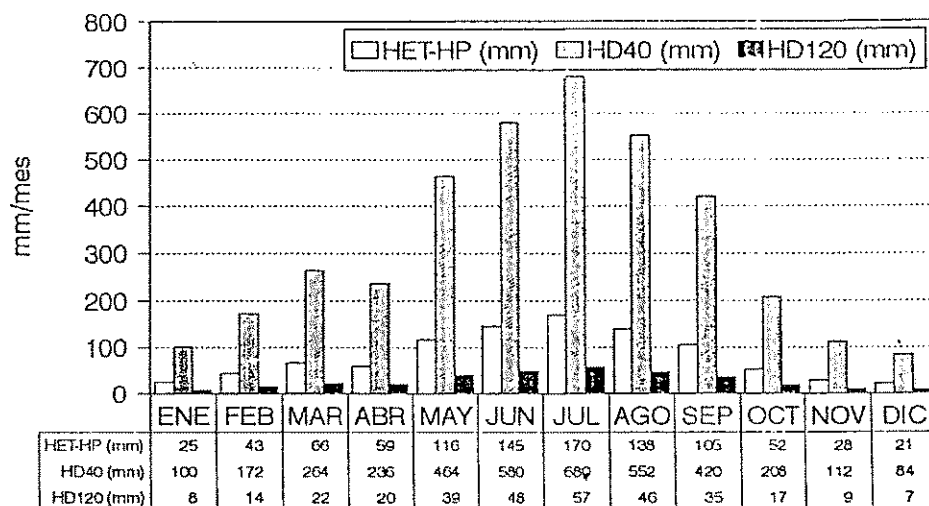


Figura 7. Requerimientos de riego (HR = HET-P+HD) y de drenaje (HD) para cultivos sensibles (STES: 40 meq/l) (HD40) y tolerantes (STES: 120 meq/l) (HD120) en un clima mediterráneo semiárido

AGUA II (LFST40 = 0,36; LFST120 = 0,07; F = 0,6)

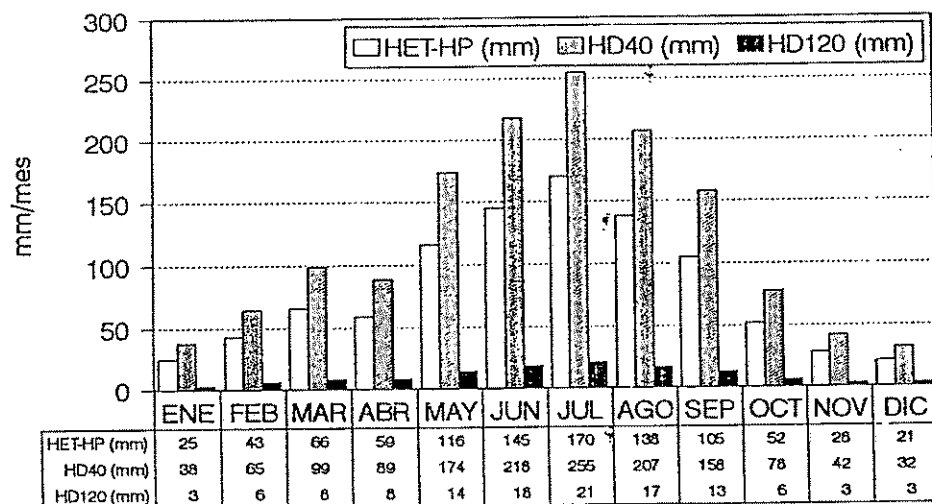


Figura 8. Requerimientos de riego (HR = HET-P+HD) y de drenaje (HD) para valores límites de RASES: 10 (HD10) y de RASES: 20 (HD20) en clima mediterráneo semiárido

AGUA III (LFNa10 = 0,20; LFNa20 = 0,10; F = 0,6)

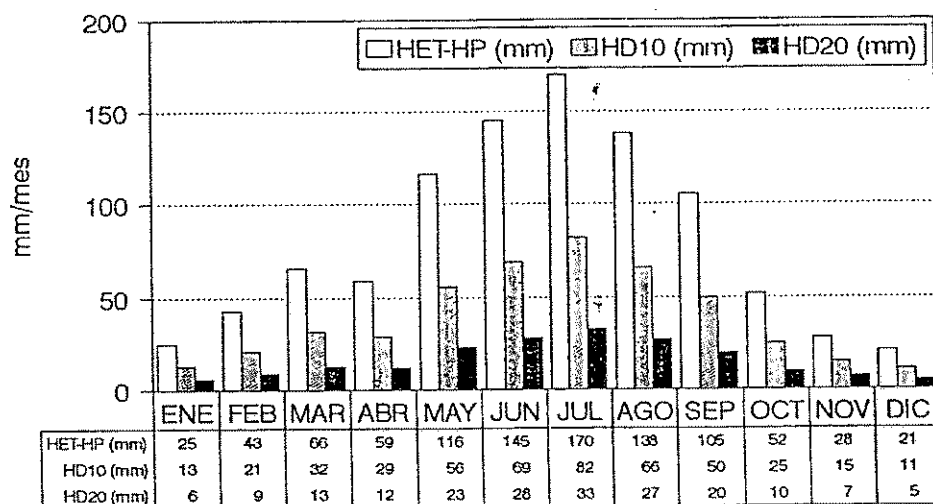


Figura 9. Requerimientos de riego ($HR = HET-P+HD$) y de drenaje (HD) para valores límites de RASES: 10 ($HD10$) y de RASES: 20 ($HD20$) en clima mediterráneo semiárido

AGUA III(E) ($LFNa10 = 0,09$; $LFNa20 = 0,05$; $F = 0,6$)

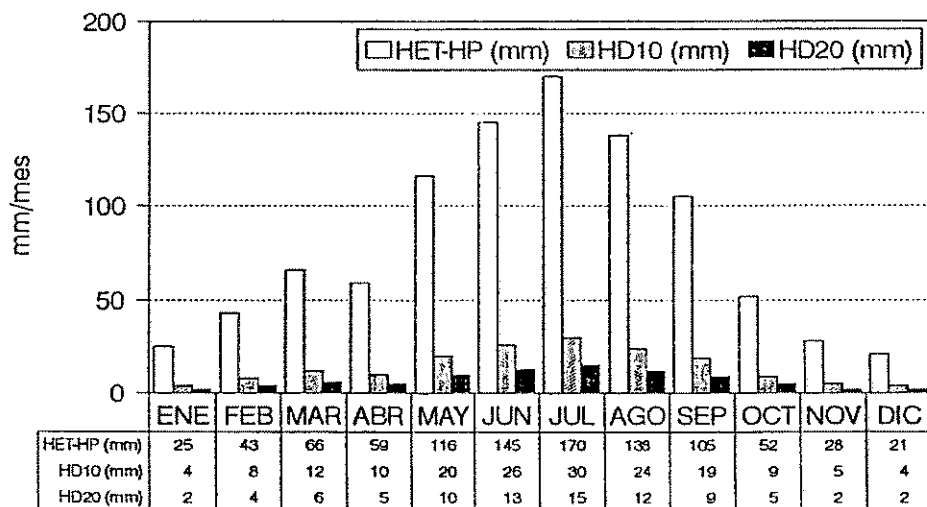


Figura 10. Requerimientos de manejo de riego (TR/TER) para diferentes combinaciones de fracciones de lavado: L (cultivo, suelo, agua de riego), tasa de infiltración: I (suelo, agua de riego), y requerimientos netos de riego: $HET-HP$ (cultivo, clima) (TR : duración del riego; TER : Intervalo entre riegos; HET : evapotranspiración; HP : precipitación efectiva)

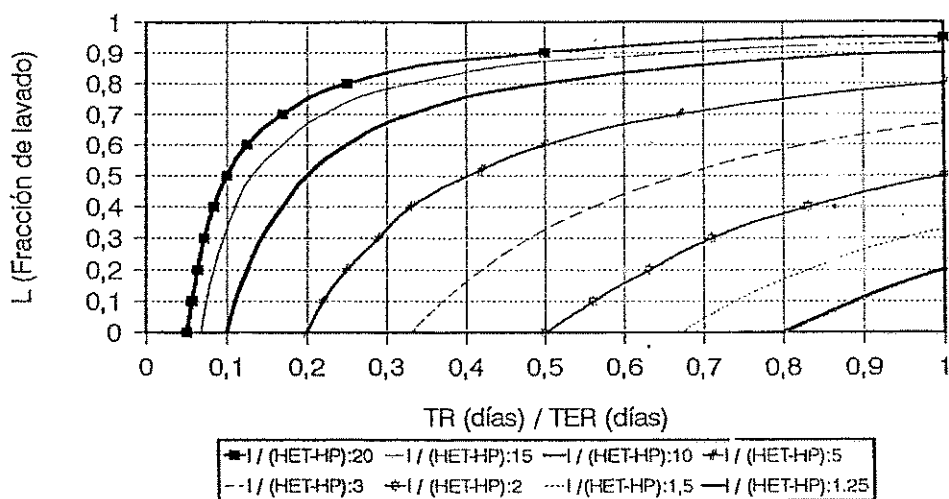
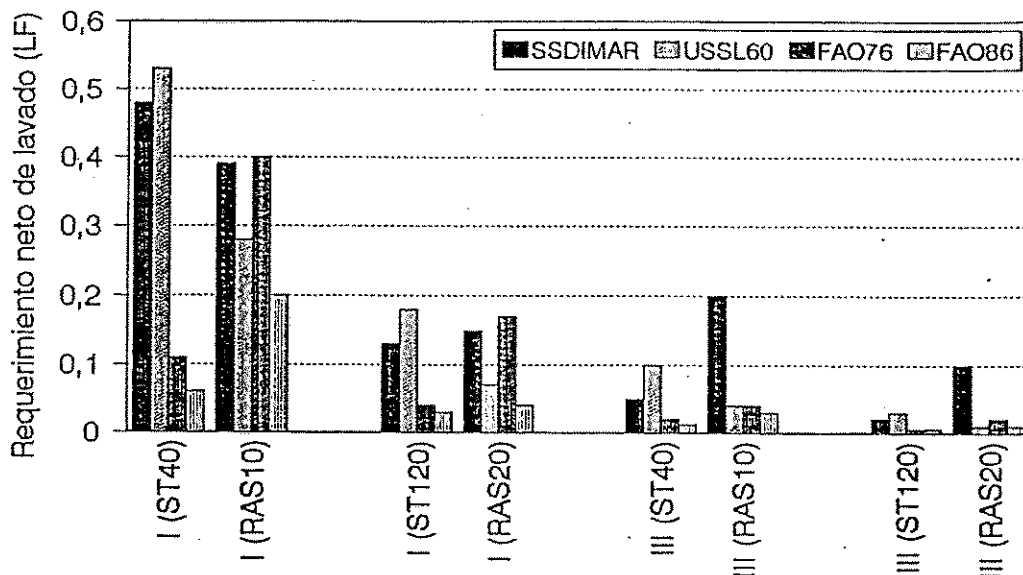


Figura 11. Requerimientos netos de lavado (LF) para valores límite en extracción de saturación del suelo, de sales totales (ST: 40 y 120 meq/l) y de relación de adsorción de sodio (RAS: 10 y 20), calculados según diferentes índices y sistemas de evaluación, para las aguas de riego I y III (Cuadro 2)

(SSDIMAR: Pla, 1968; 1996) (USSL60: USDA, 1954) (FAO76: Rhoades, 1972; FAO, 1976) (FAO86: Suárez, 1981; FAO, 1986)



forma en que se aplican los diferentes sistemas y prácticas de riego en gran parte de las zonas de riego del mundo, por lo que representan valores máximos para sistemas de riego con intervalos de varios días entre riegos. Aunque es muy difícil que en condiciones de campo se presente en forma uniforme una distribución de raíces que permitan un consumo escalonado de agua y efectos de la salinidad como lo previsto en los índices FAO76 y FAO86, sin embargo sí podría esperarse que los requerimientos de lavado calculados por SSDIMAR puedan reducirse con un sistema de riego muy controlado, continuo o muy frecuente, que mantenga un flujo de agua y lavado continuo de sales hacia abajo en el perfil del suelo. De todas formas, esto también puede evaluarse con el modelo SSDIMAR, utilizando valores límite de ST_{es} más bajos, en base a la dilución de sales que se preve mantener en la solución del suelo, hasta la profundidad donde se vayan a desarrollar gran parte de las raíces, con un sistema de riego

controlado de alta frecuencia o continuo. Adicionalmente, el modelo SSDIMAR permitirá una mayor precisión en el cálculo de la composición del agua de drenaje y de los aportes o pérdidas de sales disueltas o precipitadas en el suelo.

RESUMEN

La agricultura de riego es y ha sido considerada por varios milenios la manera más efectiva de incrementar y regular la producción de cultivos, especialmente en zonas con climas árido y semiárido. Todas las proyecciones de producción de alimentos para la creciente población futura del mundo prevén un incremento considerable de las tierras agrícolas bajo riego. El problema de la salinización de los suelos ha sido y sigue siendo uno de los principales factores limitantes del desarrollo y sostenibilidad de la agricultura de riego en todo el mundo.

Dicho problema es una consecuencia de la inadecuada gestión del recurso agua en las prácticas de riego y drenaje para cada combinación de los factores clima, cultivos, suelos, fertilización, nivel freático, calidad del agua de riego, y sistema de riego. Las posibilidades de predecir las mejores condiciones y alternativas de gestión del riego y del drenaje para prevenir, controlar y reducir los problemas de salinización de pende de nuestra capacidad de evaluar los procesos de salinización y de modelar las interacciones de estas condiciones y alternativas de manejo para cada combinación de factores a considerar. Para ello, en este trabajo se presentan los criterios y metodologías de trabajo que deben considerarse en el proceso de evaluación, y después de analizar diferentes índices y modelos para predecir o simular los procesos de salinización y sodificación de los suelos se justifica, detalla y propone un nuevo modelo llamado "SALSODIMAR". Este es un modelo predictivo de simulación, sencillo y práctico, desarrollado por el autor a través de aproximaciones y validaciones sucesivas en los últimos 30 años, el cual permite predecir los posibles procesos y problemas de salinización de los suelos, y al mismo tiempo establecer los requerimientos de riego y drenaje, de prácticas de riego, y de cultivos para diferentes aguas de riego y suelos disponibles. Con ello se pueden seleccionar las mejores alternativas de manejo de riego y del drenaje para cada combinación de factores físicos, técnicos, sociales y económicos en cada región, zona o parcela. El modelo "SALSODIMAR" propuesto se basa en un balance independiente de los iones más comunes en aguas utilizadas para riego, en la zona radicular del suelo, hasta alcanzar equilibrio, de acuerdo a la fracción efectiva de lavado y a las solubilidades máximas de las diferentes sales para cada condición.

BIBLIOGRAFÍA

ABROL, I.P., J.S.P. YADAV y F.I. MASSOUD

- (1988): *Salt-affected soils and their management*. FAO Soils Bulletin 39. FAO. Roma (Italia)
- BOUMANS, J.H. (1987): Drainage in arid regions. En: *Proc. Symp. 25th Int. Course on Land Drainage* (Vos, ed). Publ.42. 22-41. ILRI. Wageningen (Holanda)
- CHHABRA, R. E I.P. ABROL (1977): Reclaiming effect of rice grown in sodic soils. *Soil Sci.* 124: 49-55
- DALTON, F.N. y M.TH. VAN GENUCHTEN (1985): The time-domain reflectometry method for measuring soil water content and salinity. *Geoderma* 38 (1-4): 237-250
- FAO (1976) Rev. (1986): Water quality for agriculture. *Irrigation and Drainage Paper*, 29. FAO. Roma (Italia)
- FAO (1988): *World Agriculture Toward 2000: An FAO Study*. Bellhaven Press. Londres. 338p
- MASS, E.V. y G.J. HOFFMAN (1977): Crop salt tolerance-current assessment. *Journal of Irrigation and Drainage*. 103(IR2): 115-134
- NADLER, A. y H. FRENKEL (1980): Determination of soil solution electrical conductivity measurements by the four electrode method. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44: 1216-1221
- PLA, I. (1968): Evaluation of the quality of irrigation waters with high bicarbonate content in relation to the drainage conditions. *Trans. 9th Congress of the ISSS*. 1: 357-370. Adelaide (Australia)
- PLA, I. y F. DAPPO (1975): *Sistema racional para la evaluación de calidad de agua para riego*. Suplemento Técnico 12. FUDECO. Barquisimeto (Venezuela)
- PLA, I. y F. DAPPO (1977): Field testing of a new system for qualifying irrigation water. *Proc. Int. Conf. on Managing Saline Water for Irrigation*. Texas Tech. Univ. Lubbock (Texas. USA). 376-387
- PLA, I. (1983): Sistema integrado agua-cultivo-suelo-manejo para evaluar la calidad de agua para riego. En: *Isotopes and radiation techniques in soil physics*

- and irrigation studies. 191-206. IAEA. Viena (Austria)
- PLA, I. y A. FLORENTINO (1983): Características y diagnóstico de suelos salino-ácidos en Venezuela. *Proc. Int. Workshop on Salt-affected Soils in Latin America*. 123-132. SVCS-ISSS. Maracay (Venezuela)
- PLA, I. (1988): Riego y desarrollo de suelos afectados por sales en condiciones tropicales. *Soil Technology*. 1(1): 13-35
- PLA, I. (1996): Soil salinization and land desertification. En: *Soil degradation and desertification in Mediterranean environments*. 105-129. Geoforma Ediciones. Logroño (España)
- RHOADES, J.D. (1968): Leaching requirement for exchangeable sodium control. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 32:652-656
- RHOADES, J.D. y R.D. INGVALSON (1971): Determining salinity in field soils with soil resistance measurements. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 35: 54-60
- RHOADES, J.D. (1972): Quality of water for irrigation. *Soil Sci.* 113:277-284
- RHOADES, J.D. y D. L. SUÁREZ (1977): Reducing water quality degradation through minimized leaching management. *Agric. Water Management* 1:127-142
- RHOADES, J.D. (1982): Soluble Salts. En : *Methods of Soil Analysis. Part 2, Chemical and Microbiological Properties*. (A.L. Page y col, ed). *Agronomy Monograph* 9: 167-178
- RHOADES, J. D. (1984): Using saline waters for irrigation. *Proc. of the Int. Workshop on Salt-Affected Soils in Latin America*. (Pla, I. and A. Florentino, ed.), 22-52. SVCS-ISSS. Maracay (Venezuela)
- RHOADES, J.D., D.L. CORWIN y P.J. SHOUSE. (1988). Use of instrumental and computer assisted techniques to assess soil salinity. En : *Proc. Int. Symp. on Solonetz Soils. Problems, Properties, Utilization*. YSSS-AFUO-ISSS. Osijek (Yugoslavia)
- SANDHU, S.S. E.I.P. ABROL (1981): Growth responses of Eucalyptus tereticornis and Acacia nilotica to selected cultural treatments in a highly sodic soil. *Indian J. Agric. Sci.* 51: 437-443
- SUÁREZ, D. L. (1981): Relation between pHc and Sodium Adsorption Ratio (SAR) and an alternative Method of Estimating SAR of Soil and Drainage Waters. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45:469-475
- SUÁREZ, D.L., J. SIMUNEK y M. GUZY (1995): Practical Model for Predicting Soil Salinity and Sodicity under Transient Conditions. En: *Proc. of the Int. Workshop on Integrated Soil Management for Sustainable Use of Salt Affected Soils*. 39-54. FAO-ISSS-UNEP-BSWM. Manila (Filipinas)
- SZABOLCS, I. (1989): Amelioration of soils in salt-affected areas. *Soil Technology* 2(4): 331-344
- SZABOLCS, I. (1990): Impact of climatic change on soil attributes. Influence on salinization and alkalinization. En: *Soils on Warmer Earth* (Sharpenseel y col, ed). 61-71. Elsevier
- USDA (1954): *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils*. USDA. Washington
- WRI-IIED-UNEP (1988): *World resources 1988-89. An assessment of the resource base that supports the global economy*. New York (USA)
- YADAU, B.R. y COL. (1979): Comparison of different methods for measuring soil salinity under field conditions. *Soil Sci.* 127: 335-339 pp

EL ESTUDIO DE LAS SUPERFICIES MINERALES ACTIVAS DEL SUELO: REALIDAD ACTUAL, MODELOS Y PERSPECTIVAS

JOSÉ TORRENT Y VIDAL BARRÓN

Departamento de Ciencias y Recursos Agrícolas y Forestales, Universidad de Córdoba, Apdo. 3048, 14080 Córdoba

Abstract: The study of the adsorption reactions occurring at the soil solid-liquid interface is crucial to understand key aspects of plant nutrition and environmental pollution. In this cursory review, we discuss the progress made on the measurement of the reactive mineral surfaces of soils, as well as on the characterization of the configuration and atomic composition of such surfaces. Hypotheses on the reaction models of active surfaces and solutes are also examined. Progress in these studies has been possible thanks to new microscopic and spectroscopic techniques, e.g., atomic force microscopy or X-ray adsorption spectroscopy. The challenges the nature of the subject poses are, however, greater than the advances, because (i) mineral surfaces are complex in their local structure and heterogeneity, and (ii) the processes occurring on them are also complex and not necessarily leading to a true chemical equilibrium.

Resumen: El estudio de las reacciones de adsorción que tienen lugar en la interfase sólido-líquido de los suelos es fundamental para comprender aspectos claves de la nutrición vegetal y contaminación ambiental. En esta breve revisión analizamos los progresos y problemas en la cuantificación de las superficies minerales activas de los suelos y la caracterización de su configuración y composición atómica. Se examinan también las hipótesis inherentes a los modelos de reacción de las superficies con los solutos. El progreso en estos estudios ha sido en parte posible gracias a nuevas técnicas microscópicas y espectroscópicas, como la microscopia de fuerza atómica o la espectroscopia de adsorción de rayos X. Sin embargo, los retos que se presentan son aún mayores que los avances, particularmente por la compleja naturaleza de las superficies en cuanto a su estructura local y heterogeneidad, y por la naturaleza de los procesos que acontecen en ellas, no necesariamente conducentes a verdaderos equilibrios químicos.

INTRODUCCIÓN

El descubrimiento de las propiedades de intercambio catiónico a mediados del siglo XIX (Way, 1852) es el primer hito en el estudio de los procesos que ocurren en la interfase sólido-líquido de los suelos. Dichas

reacciones ocupan hoy un lugar destacado en el interés de los químicos del suelo, a menudo por delante de las reacciones que tienen lugar en la fase líquida. A ello ha contribuido no sólo la influencia que ejercen en la disponibilidad y transporte de los nutrientes de las plantas sino su marcado impacto en los pro-

cesos de contaminación del suelo por distintas sustancias.

El paso de una sustancia de la fase líquida a la sólida suele recibir actualmente el nombre genérico de sorción. Este necesario neologismo engloba la adsorción en sentido estricto (un proceso bidimensional, de acumulación de sustancias en la superficie del sólido), así como la precipitación superficial, la coprecipitación y la difusión en el sólido. No es fácil en muchas ocasiones distinguir estos procesos (Sposito, 1984), lo que hace inadecuado el uso del término adsorción, a menos de que haya prueba experimental que lo justifique.

La adsorción de solutos se debe a diversos tipos de procesos, que a su vez involucran fuerzas diversas, que van de las fuerzas físicas débiles de van der Waals y fuerzas electrostáticas a interacciones químicas. El papel de las fuerzas electrostáticas ha sido ampliamente estudiado por los químicos del suelo en su relación con el intercambio catiónico y, junto con las fuerzas de van der Waals, en los procesos coloidales de floculación y dispersión. Al lado de ello, se ha visto un espectacular desarrollo del estudio de las interacciones químicas superficiales en los últimos treinta años. Dentro de estas interacciones destacaremos los enlaces covalente y de hidrógeno, la interacción hidrófoba y partición y, en particular, la formación de complejos de esfera interna (cambio de ligando). En consonancia con esto se observa en los libros de química del suelo un significativo descenso a lo largo del tiempo en la proporción de texto dedicado al intercambio catiónico en comparación con el texto dedicado a todos los procesos de adsorción (Fig. 1).

Gran parte de los fenómenos de adsorción de los suelos ocurren en superficies cargadas. Actualmente se las clasifica en superficies de carga permanente y superficies de carga variable. Las primeras, debidas a sustitución isomorfa, están constituidas esencialmente por las superficies siloxano (basales) de los minerales de la arcilla y determinan gran parte de la capacidad de intercambio catiónico de los suelos de las

regiones templadas. Las segundas son, sobre todo, las superficies hidroxiladas de los óxidos (Fe, Al, Ti) y de los bordes de los minerales de la arcilla y su carga depende de las propiedades de la disolución. El estudio intensivo de las propiedades de carga de estas últimas superficies arranca del trabajo de Parks (1967), con su clásica concepción de la naturaleza (hidroxilada y anfótera) de la superficie de un óxido:



donde $>M$ es el ión metálico subyacente.

Esta simple concepción puede servir de base para ilustrar diversas interacciones entre solutos y superficies hidroxiladas, tal como la

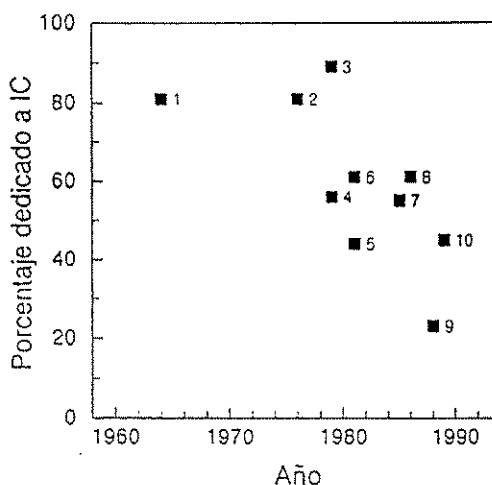


Fig. 1. Porcentaje del texto dedicado a intercambio catiónico (IC) con respecto al texto total dedicado a procesos de adsorción en diversos libros de texto de química del suelo. 1, Bear (1964); 2, Bolt et al. (1976); 3, Bolt (1979); 4, Bohn et al. (1979); 5, Dowdy (1981); 6, Greenland y Hayes (1981); 7, Bohn et al. (1985); 8, Sparks (1986); 9, Wild (1988); 10, Sposito (1989).

formación de complejos de esfera externa e interna (Fig. 2).

El efecto de las fuerzas electrostáticas sobre los fenómenos de adsorción ha sido permanente objeto de estudio, empezando por el formalismo de la doble capa difusa (DCD) de Gouy-Chapman (Gouy, 1910; Chapman, 1913) y el trabajo de Stern (1924). Actualmente, las distintas hipótesis sobre la distribución de carga y de potencial

alrededor de las superficies cargadas se unen a consideraciones basadas en la ley de acción de masas para configurar los distintos modelos de formación de complejos superficiales (Venema et al., 1996a). Este enfoque mecanicista de la adsorción viene a reemplazar el enfoque basado en las llamadas isotermas de adsorción (ecuaciones de Langmuir, Freundlich, Temkin y otras) que, aunque útiles, no representan más que

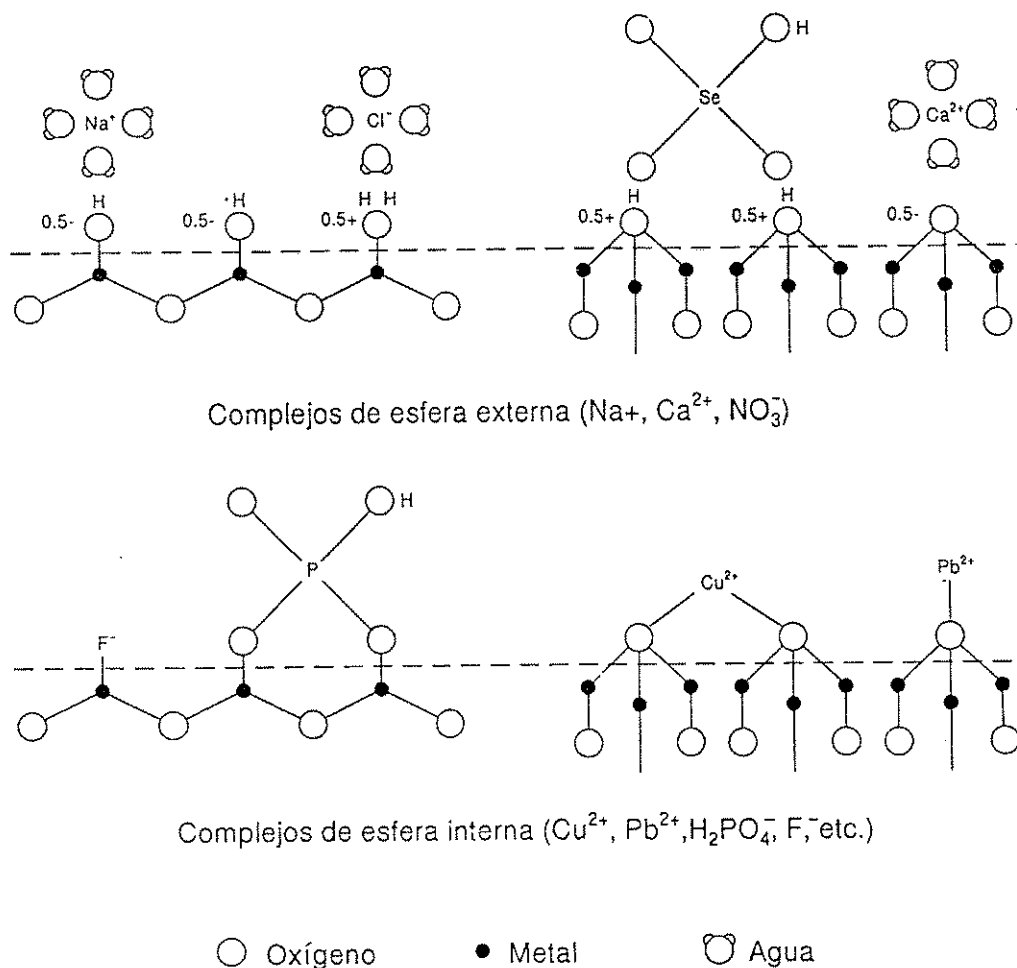


Fig. 2. Representación de diversos complejos de esfera externa e interna en una superficie hidroxilada. La geometría de los iones y las cargas indicadas en el dibujo son sólo ilustrativas y, por tanto, no estrictamente correctas.

aproximaciones empíricas o semiempíricas a una descripción macroscópica (Scheidegger y Sparks, 1996).

Una constante de los modelos químico-físicos de adsorción ha sido hasta hace poco la falta de conexión con la realidad atómica o molecular de los adsorbatos y de las superficies adsorbentes. Éstas han sido frecuentemente consideradas planas y como meros soportes de cargas puntuales y de distribución homogénea; por otra parte no se ha profundizado en las consecuencias que para la adsorción tiene la distinta geometría de los adsorbatos. Esta situación está siendo parcialmente remediada por un examen detallado del conjunto adsorbente-adsorbato gracias a la nuevas técnicas de espectroscopia molecular apoyadas por adecuados modelos de adsorción. En todo caso, la comprensión de los mecanismos e importancia cuantitativa de los procesos de adsorción requiere una caracterización de las superficies sustancialmente mejor que la que poseemos hoy en día.

En esta breve revisión examinaremos los progresos y retos en la cuantificación de las superficies adsorbentes de los suelos, y en el estudio de su naturaleza atómica y carga, así como las tendencias en la construcción de modelos de interacción adsorbente-adsorbato.

MEDIDA DE LA SUPERFICIE ESPECÍFICA

La suma de todas las áreas de las superficies de las partículas por unidad de masa del suelo, o superficie específica (SE), es un concepto operativo, es decir, depende de la técnica utilizada (Sposito, 1984). En la práctica se han utilizado métodos de adsorción así como métodos físicos para su determinación.

Los métodos de adsorción positiva de gases son los de mayor uso, en particular el método BET (Brunauer et al., 1938) con el N_2 como adsorbato. Este gas, al interaccionar débilmente con distintos grupos funcionales y no penetrar en ciertos espacios porosos, sólo permite la

medida de las superficies externas de los minerales de la arcilla. La medida de las superficies internas se logra normalmente con vapores polares como el agua (Quirk, 1955) o el monoetiléter de etilenglicol (EGME) (Carter et al., 1965). De estos métodos, el último, aunque usado con bastante frecuencia, parece ser el que ofrece los valores más atípicos en relación con la realidad geométrica de las superficies minerales (Tiller y Smith, 1990), siendo particularmente problemático en suelos ricos en materia orgánica (Pennell et al., 1995). Para óxidos o materiales edáficos ricos en los mismos, la adsorción de H_2O suele dar resultados en consonancia con los obtenidos por el método N_2 -BET (Fig. 3). Se pueden producir, no obstante, espectaculares discrepancias en algunos materiales microporosos. A pesar de ello, el H_2O , por su polaridad, parece ser el adsorbato que mejor puede reflejar la superficie reactiva de los adsorbentes con carga o naturaleza polar.

La estimación de la SE se puede hacer a partir de las observaciones al microscopio elec-

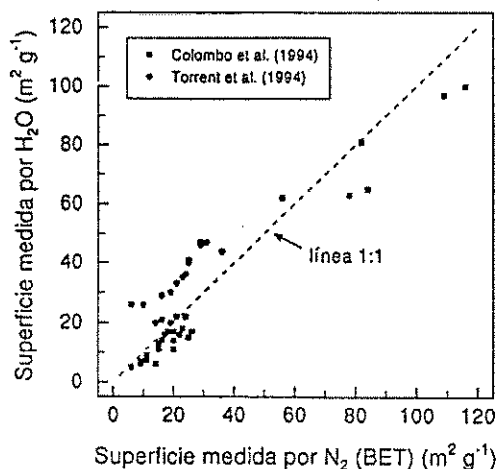


Fig. 3. La relación entre superficies específicas determinadas por adsorción de agua y de dinitrógeno (BET) para distintas hematites sintéticas y naturales. Datos de Colombo et al. (1994) y Torrent et al. (1994).

trónico de transmisión o de barrido (MET, MEB) de las partículas minerales del suelo, su densidad y forma. El método tiene indudables problemas, particularmente en muestras heterogéneas y cuando las partículas minerales presentan una forma compleja y porosidad o rugosidad superficial, lo cual es más la regla que la excepción. Así, de Mesquita y Torrent (1993) encontraron que la SE de las partículas de gibbsita estimada por MET era un 40% inferior a la determinada por el método N_2 -BET.

El análisis de los espectros de difracción de rayos X ha sido empleado con alguna frecuencia para estimar la SE. Se basa en el uso de la fórmula de Scherrer que permite calcular la longitud media de coherencia en la difracción (LMCD), designada anteriormente como la dimensión media del cristalito (DMC). A partir de la LMCD perpendicular a distintos planos hkl del cristal, y asumiendo determinada forma geométrica (cilíndrica, paralelepédica, etc.) y densidad, se puede calcular la SE. El método se puede ver bien ilustrado en el reciente trabajo de Jackman et al. (1997), que utilizaron el refinamiento de Rietveld para los difractogramas. El método ofrece sin embargo resultados muy dispares; así, en un estudio de suelos ricos en hematites, la SE calculada era marcadamente superior a la media de las SE determinadas por el método N_2 -BET y adsorción de H_2O (Fig. 4), mientras que en muestras de hematites sintéticas la tendencia era la opuesta (Barrón et al., 1988; Colombo et al., 1988). Los factores que influyen en estas discrepancias son: (i) la presencia de porosidad y rugosidad superficial, que lleva a una infraestimación de la SE al usar el difractograma, y (ii) la presencia de más de un dominio cristalino en la partícula, que lleva a una sobreestimación. Por esta razón, la sobreestimación es mayor en muestras de baja SE, dado que las partículas grandes tienen frecuentemente varios dominios cristalinos que difractan independientemente.

Las consideraciones anteriores sugieren que la combinación de distintos métodos de medida de la SE puede ser útil para alcanzar un mejor conocimiento de la magnitud de la SE, teniendo

particular interés para poner de manifiesto el contraste de reactividad entre suelos o mezclas minerales.

ESTUDIO DE LA CONFIGURACIÓN Y COMPOSICIÓN ATÓMICA DE LAS SUPERFICIES MINERALES

Las superficies de los distintos minerales del suelo, así como las de las distintas caras cristalinas de un mineral pueden diferir ampliamente en su configuración atómica. Los minerales de la arcilla presentan como rasgo común la existencia de las superficies basales siloxano; por el contrario, la variedad es mucho mayor en las superficies de óxidos y bordes de los minerales de la arcilla.

Una primera aproximación a la configuración atómica de las superficies minerales puede ser obtenida a partir del conocimiento de la estructura cristalina del mineral, posición de los átomos o iones en la celdilla elemental y tipo de

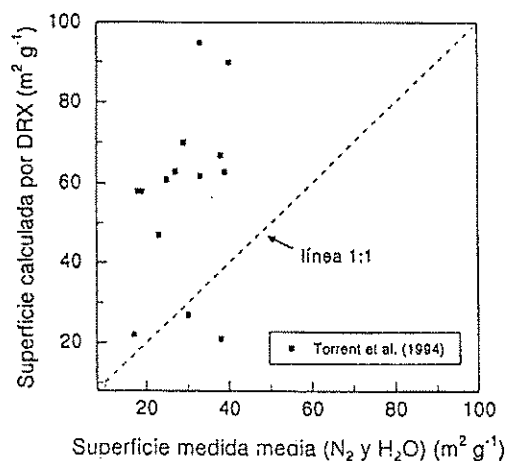


Fig. 4. Comparación entre la superficie específica calculada a partir de los difractogramas de rayos X (fórmula de Scherrer) y la media de las superficies específicas determinadas por adsorción de agua y de dinitrógeno (BET). Datos de Torrent et al. (1994).

cara cristalina. Para ello es normalmente suficiente considerar el plano que, paralelo a la cara considerada, tenga la mayor densidad atómica y asegure la coordinación del mayor número de átomos. Esta aproximación geométrica ha sido empleada a menudo, tal como ilustra la Fig. 5, con varias caras cristalinas de de goethita y hematites. Mediante la misma es posible, por ejemplo, ver las marcadas diferencias que en

hidroxilos reactivos existen en las caras de estos minerales (Barrón y Torrent, 1996). Actualmente existen programas para visualizar de este modo las caras de distintos minerales.

En la configuración basada en los criterios anteriores no se considera la asimetría de fuerzas existente en la superficie, donde los átomos, al contrario de lo que ocurre en el interior del cristal, sólo están solicitados por las fuerzas

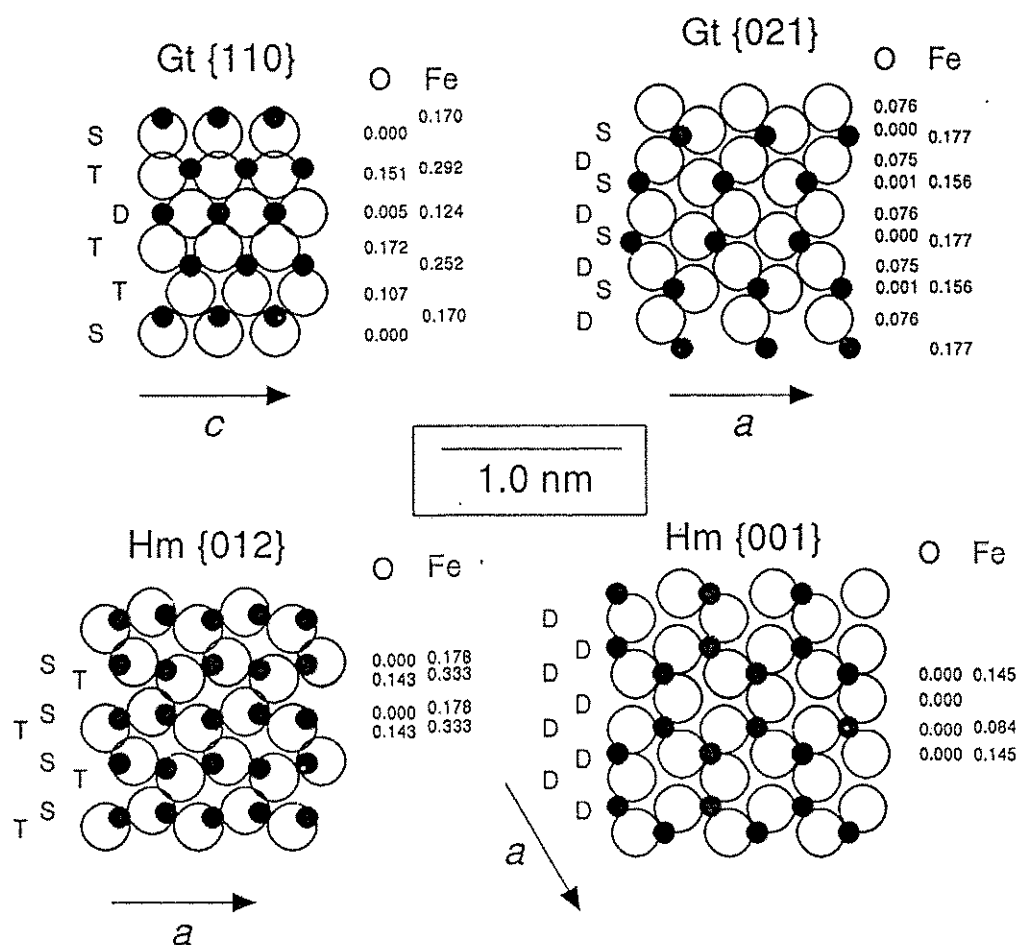


Fig. 5. Configuración de los hidroxilos superficiales de las caras {110} y {021} de la goethita (Gt) y {012} y {001} de la hematites (Hm). Se indica la distancia de los iones O y Fe al plano de proyección (tomado como el de los iones oxígeno más superficiales), así como la coordinación de los iones oxígeno superficiales a uno (S), dos (D), o tres (T) iones Fe. Modificado de Barrón y Torrent (1996).

debidas a los átomos subyacentes. Si se quiere considerar esta obvia realidad física es necesario un enfoque más riguroso. Esto se lleva a cabo mediante las modernas técnicas de modelización molecular (Skipper, 1996). Se trata con ellas de calcular propiedades de los sistemas en que las partículas interaccionan según un conjunto de funciones de potencial. Los potenciales de interacción pueden ser considerados a distintos niveles de aproximación. En los llamados cálculos *ab initio* (el nivel más riguroso) se usa la ecuación de Schrödinger para todos los electrones y núcleos atómicos, lo que hace extraordinariamente largo el tiempo de cálculo, incluso para un número limitado de átomos. Por ello es más práctico el uso de aproximaciones empíricas y semi-empíricas, en las que se utilizan las interacciones efectivas entre átomos y moléculas. Un ejemplo de ello son los cálculos de estática molecular (llamada a veces mecánica molecular) expuestos por Rustad et al. (1996) para las caras {110} de la goethita; en dicho trabajo se emplean supuestos relativos a las funciones de energía potencial y se aplica un criterio de minimización de la energía.

La configuración atómica real de algunas superficies minerales puede ser estudiada mediante los microscopios de efecto túnel y de fuerza atómica (MET o STM y MFA o AFM). Este tipo de microscopía incluye en realidad más de treinta técnicas distintas, algunas de las cuales permiten llegar a resolución atómica o cercana a ella. Para las superficies de los minerales conductores o semiconductores, la técnica de microscopía de efecto túnel permite llegar a resolución atómica (Eggleston y Hochella, 1992). Esta resolución, en el caso de minerales no conductores (donde sólo es posible usar MFA), parece estar en gran parte limitada a caras de exfoliación de cristales de cierto tamaño, como es el caso de la moscovita (Fig. 6). Finalmente, la configuración atómica puede ser estudiada por difracción electrónica de baja energía (LEED), que proporciona una difracción de Bragg si la superficie está ordenada cristalinamente (Hochella, 1990).

Una característica típica de las superficies minerales es su compleja microtopografía, que incluye, entre otros rasgos, huecos de disolución, microfisuras, escalones, terrazas e islotes. Esta heterogeneidad puede ser contemplada por MFA (Fig. 7), lo que da a esta técnica un potencial indudable.

Uno de los mayores retos en el estudio de las superficies minerales es, sin duda, la identificación y cuantificación del área de las distintas caras cristalinas, incluso en cristales aparentemente idiomorfos. El problema es menor en cristales idiomorfos aislados de morfología plana o acicular; en estos casos una adecuada combinación de MET y difracción de rayos X puede ser muy útil. Por ejemplo, los diferentes patrones de difracción de muestras en polvo y

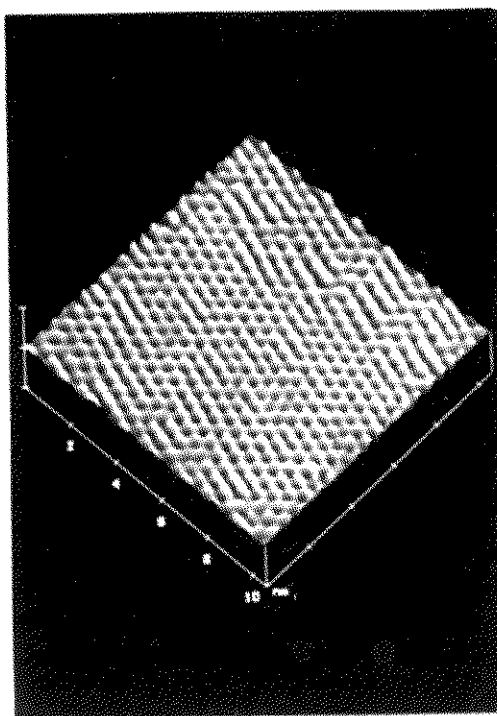


Fig. 6. Cara basal de la moscovita vista al microscopio de fuerza atómica (MFA) en modo contacto.

orientadas permiten establecer la cara donde las partículas se apoyan; de igual forma las técnicas de réplica, seccionado y sombreado son aquí aplicables. La situación es indudablemente más difícil para partículas pequeñas y de caras cristalinas mal definidas. Ocasionalmente, la MET de alta resolución ayuda, ya sea para partículas inalteradas o en sección fina. La Fig. 8 muestra como ejemplo un cristal de hematites acicular en la dirección [001] y aparentemente limitado por microcaras {012}.

Aunque adecuada en principio para el examen de la morfología de las partículas minerales, la MFA presenta limitaciones que deben de tenerse en cuenta en el caso de partículas de pequeño tamaño. En este caso el uso de puntas de exploración convencionales (piramidales, de Si_3N_4) puede crear artefactos con apariencia de caras cristalinas (Fig. 9), necesitándose al efecto puntas finas de Si, mucho más caras y delicadas.

De los métodos espectroscópicos utilizados para determinar la composición química de las superficies minerales, la espectroscopía de

fotoelectrones de rayos X (XPS), la espectroscopía de Auger (AES) y la espectroscopía de masas de iones secundarios (SIMS) son los más utilizados. La XPS permite análisis a una profundidad de unos pocos hasta 10 nm, dependiendo de la superficie y condiciones instrumentales. No obstante, la resolución espacial de la misma (máximo: $1\text{ }\mu\text{m}$) no permite el análisis de superficies pequeñas.

LA CARGA DE LAS SUPERFICES MINERALES

Debido a su papel relevante en los fenómenos de adsorción, las propiedades de carga de las superficies minerales han sido estudiadas con detenimiento. No obstante, sólo hace 20 años que se han adoptado de forma sistemática definiciones no ambiguas sobre los conceptos básicos, tales como los distintos punto de carga cero (PCC) (Sposito, 1984). Sin duda, la complejidad de la carga de las superficies minerales de los suelos radica en la presencia de carga permanente, cargas derivadas de la adsorción y

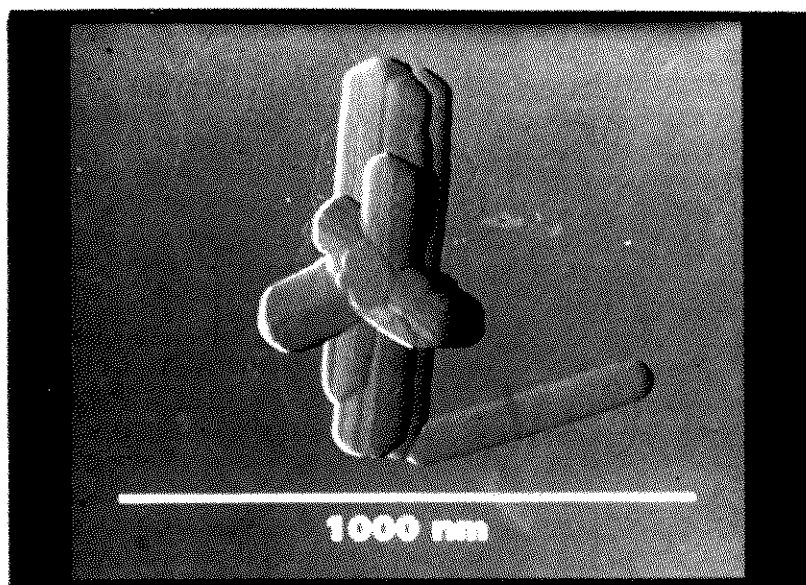


Fig. 7. Macla de goethita vista al MFA, mostrando suaves hendiduras (¿unión de dominios cristalinos?).



Fig. 8. Cristal de hematites de forma acicular en (001) visto al microscopio electrónico de transmisión en alta resolución. Las microcaras laterales son probablemente {012}.

desorción de protones y formación de complejos de esfera externa e interna. Todo ello, unido a que los suelos son sistemas multiminerales, hace que una adecuada caracterización de la carga no sea en absoluto sencilla. La medida de la carga permanente (estructural) se puede hacer con relativa facilidad gracias a la adsorción específica (formación de complejo de esfera interna) del Cs (Anderson y Sposito, 1991). La determinación de las características globales de carga requiere una cuidadosa serie de valoraciones acidimétricas (Chorover y Sposito, 1995).

Las llamadas superficies de carga variable (en realidad de carga y potencial variables) han merecido numerosos estudios, particularmente las superficies hidroxiladas de los óxidos de Fe, Al y Si. Para ello se ha recurrido con frecuencia a muestras sintéticas de goethita, hematites, gibbsita y otros compuestos. En la actualidad, los experimentos de valoración se hacen con exclusión rigurosa del CO_2 atmosférico (causa de la formación de complejos de esfera interna

del HCO_3^- con las superficies hidroxiladas); esto ha dado lugar a unos valores del PCC más altos de los determinados anteriormente.

Es sorprendente que hasta hace poco más de diez años no se haya tratado de asimilar la naturaleza de la carga generada por la adsorción y desorción de protones a lugares concretos de las distintas superficies minerales. Sin embargo, tal como se ha visto (Fig. 5), la naturaleza, densidad y distribución de los grupos hidroxilo varía enormemente de un mineral a otro y de una cara cristalina a otra dentro de un mineral. El simple modelo de la adsorción-desorción de H^+ por un mismo OH superficial (ecuaciones (1) y (2)) dista mucho de la realidad física de las superficies hidroxiladas. Un primer remedio a esta situación fue propuesto por Hiemstra et al. (1989a, 1989b) en su modelo MUSIC (MULTISite Complexation Model), y en su posterior interpretación químico-física del proceso de carga de las superficies hidroxiladas (Hiemstra y van Riemsdijk, 1991) y de la distri-

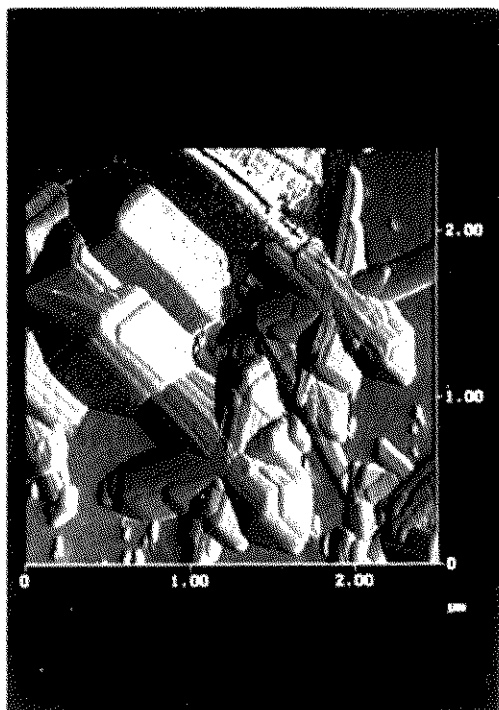
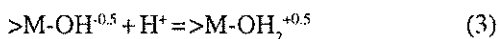


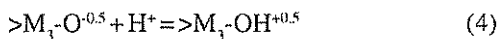
Fig. 9. Macla de goethita observada al MFA en modo contacto, con punta piramidal gruesa. Algunas de las aparentes caras piramidales en los extremos del cristal son artefactos debidos a la punta.

bución de carga (CD), basada en el concepto de Pauling (Hiemstra y van Riemsdijk, 1996). En esencia, cada tipo de oxígeno superficial está coordinado con distinto número de iones metálicos (Fig. 2) y solicitado por fuerzas diferentes, lo que determina una carga distinta en cada caso. Así, en la superficie de la goethita existen iones O mono-, di- y tricoordinados con los iones Fe subyacentes (símbolos S, D y T de la Fig. 5), lo que conduce a una distinta afinidad para con los iones H^+ . En este contexto, y de acuerdo con los supuestos de aquellos autores, un determinado tipo de O u OH superficial sólo soporta un paso de protonación en el intervalo normal de pH de los ambientes naturales, siendo el modelo representado por las ecuaciones

(1) y (2) irreal en términos prácticos. A modo de ejemplo, la reacción de protonación de los grupos OH monocoordinados a un ión Fe en las caras {110} de la goethita se puede expresar sencillamente como un único paso:



al igual que la de los grupos OH tricoordinados al Fe:



Recientemente, Rustad et al. (1996) han aplicado cálculos basados en la estática molecular al problema de la determinación de las constantes de protonación de los distintos grupos OH de la superficie de la goethita. Sorprendentemente, sus resultados son muy distintos a los anteriores, ya que dichos autores encuentran constantes de protonación muy parecidas para un alto número de OH superficiales reactivos. Es claro que el problema necesita de renovados esfuerzos a fin de depurar viejas hipótesis y contrastar otras nuevas. La heterogeneidad de las superficies minerales del suelo es un fuerte obstáculo en el camino de la comprensión exhaustiva de la formación de la carga superficial, sin contar con la relativa poca atención que se ha dado a componentes edáficos con superficies no hidroxiladas pero de carga variable (caso del $CaCO_3$).

ESTUDIO DE LOS PROCESOS DE ADSORCIÓN

Tal como se ha indicado, las aproximaciones empíricas o semiempíricas a los fenómenos de adsorción están siendo reemplazadas por modelos mecanicistas, cuyo inicio se remonta a mediados de los años 70. Dichos modelos se basan en que la reacción de un ión X con un grupo activo de superficie S:



puede ser separada en un componente químico (o "intrínseco") y un componente electrostático:

$$K_{int} = \frac{(SX)/(S)(X)_s}{(SX)/(S)(X)e^{-zF\psi/RT}} = K_s e^{zF\psi/RT} \quad (6)$$

en donde K_{int} y K_s son, respectivamente, la constante intrínseca y la constante global de equilibrio, s indica el plano de adsorción para X, (X) y $(X)_s$ indican, respectivamente, la actividad de X en la disolución y en la posición s de la interfase, ψ es el potencial en el plano de adsorción, z es la carga del ión adsorbido, T es la temperatura, F el Faraday y R la constante de los gases. El componente electrostático entra pues en la reacción como una especie ficticia.

Se puede brevemente decir que los distintos modelos (Venema et al., 1996a) difieren en la formulación de las reacciones químicas en la superficie y en la descripción del perfil del potencial electrostático, bien en ausencia de lugares de adsorción en la superficie (modelo nernstiano) o bien con lugares específicos de adsorción. A su vez se establece la presencia de una capa libre de carga (modelo de Stern) o de dos (modelos de triple capa o triple plano). La distribución espacial de los iones en la disolución en equilibrio se hace siempre con el formalismo de la DCD. En el modelo CD-MUSIC (Venema et al., 1996b) se tiene en cuenta que la carga de un ión adsorbido que forme un complejo de esfera interna se distribuye entre todos sus ligandos, los cuales están en dos planos electrostáticos distintos.

Diversos programas de amplio uso, como FITEQL (Herbelin y Westall, 1994) ofrecen, en principio, la posibilidad de comprobar la bondad de los diversos modelos. Los parámetros obtenidos (la densidad de lugares de adsorción, por ejemplo) están a veces muy alejados de la realidad física de las superficies adsorbentes, incluso en el caso de buenos ajustes matemáticos (Lumsdon y Evans, 1994). Esto hace inexcusable la necesidad de confrontar los resultados del ajuste con la verdadera configuración de los complejos superficiales, lo que lleva a recurrir a métodos espectroscópicos y microscópicos.

La aplicación de diversas técnicas de espectroscopía molecular al problema de dilucidar los mecanismos de sorción (adsorción sensu stricto y otros) es relativamente reciente, con la excepción de la espectroscopía de infrarrojo (IR). Algunas de estas técnicas ya han sido mencionadas; de ellas se puede encontrar cumplida descripción y posibilidades en Hochella (1990) y Scheidegger y Sparks (1996). Una técnica que avanza rápidamente es la espectroscopía de adsorción de rayos X (XAS), que se ha utilizado para estudiar la estructura local alrededor de un adsorbato (longitud del enlace, número y tipo de átomos vecinos). Su mayor limitación reside en la necesidad de obtener rayos X muy intensos, lo que se consigue generando electrones o positrones que circulan en un anillo de un sincrotrón, instalación costosa. Por otra parte, no es posible observar todos los elementos químicos. Los espectros de XAS se dividen en dos zonas, cuyo estudio corresponde a las denominadas espectroscopías XANES y EXAFS.

La adecuada combinación de modelos de complejación superficial con los resultados del análisis espectroscópico puede aportar datos sobre la naturaleza de los fenómenos de adsorción, aunque las conclusiones distan de estar exentas de incertidumbre. Una buena muestra de ello son los recientes estudios de adsorción de ortofosfato en goethita, basados en espectros DRIFT (Espectroscopía de IR difusa con transformada de Fourier) (Persoon et al., 1996) y de XPS (Jie et al., 1995) donde se llega a resultados contradictorios sobre la importancia relativa de los complejos mono- y binucleares.

CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

Mucho se ha avanzado en la caracterización de la naturaleza y reacciones de la interfase de las partículas minerales del suelo y la disolución. El avance ha sido promovido por la apre-

ciación de la importancia capital de dichas reacciones en la dinámica de los nutrientes y, cada vez en mayor medida, de los contaminantes. El avance ha sido posible gracias a nuevas técnicas microscópicas y espectroscópicas (MFA, DRIFT, XPS, XAS, etc.), en necesaria conjunción con soportes teóricos sobre la naturaleza molecular, estérica y electrostática de las interacciones adsorbente-adsorbato-disolución. Pero los retos que se presentan son aún mayores que los avances, particularmente por la compleja naturaleza de las superficies en cuanto a su estructura local y heterogeneidad, y por la naturaleza de los procesos mismos, no necesariamente conducentes a verdaderos equilibrios químicos.

REFERENCIAS

- ANDERSON, S.J. y G. SPOSITO. 1991. Cesium adsorption method for measuring accesible structural surface charge. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55:1569-1576.
- BARRÓN, V., M. HERRUZO y J. TORRENT. 1988. Phosphate adsorption by aluminous hematites of different shapes. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52:647-651.
- BARRÓN, V. y J. TORRENT. 1996. Surface hydroxyl configuration of various crystal faces of hematite and goethite. *J. Colloid Interface Sci.* 177:407-410.
- BEAR, F. (editor). 1964. *Chemistry of the Soil*. Van Nostrand Reinhold Co., New York.
- BOHN, H.L., B.L. MCNEAL y G.A. O'CONNOR. 1979. *Soil Chemistry*. John Wiley & Sons, New York.
- BOHN, H.L., B.L. MCNEAL y G.A. O'CONNOR. 1985. *Soil Chemistry*, 2nd edn. John Wiley & Sons, New York.
- BOLT, G.H. y M.G.M. BRUGGENWERT (editores). 1976. *Soil Chemistry. A. Basic Elements*. Elsevier Scientific Pub. Co., Amsterdam.
- BOLT, G.H. (editor). 1979. *Soil Chemistry. B. Physico-Chemical Models*. Elsevier Scientific Pub. Co., Amsterdam.
- BRUNAUER, S., P.H. EMMETT y E. TELLER. 1938. Adsorption of gases in multimolecular layers. *J. Am. Chem. Soc.* 60:309-319.
- CARTER, D.L., M.D. HEILMAN y C.L. GONZALEZ. 1965. Ethylene glycol monoethyl ether for determining surface area of silicate minerals. *Soil Sci.* 100:356-360.
- CHAPMAN, D.L. 1913. A contribution to the theory of electrocapillarity. *Phil. Mag.* 25:475-481.
- CHOROVER, J. y G. SPOSITO. 1995. Surface charge characteristics of kaolinitic tropical soils. *Geochim. Cosmochim. Acta* 59:875-884.
- COLOMBO, C., V. BARRÓN y J. TORRENT. 1994. Phosphate adsorption and desorption in relation to morphology and crystal properties of synthetic hematites. *Geochim. Cosmochim. Acta* 58:1261-1269.
- DOWDY, R.H. (editor). 1981. *Chemistry in the Soil Environment*. ASA, SSSA, Madison, Wisconsin.
- EGGLESTON, C.M. y M.F. HOHELLA, JR. 1992. The structure of hematite {001} surfaces by scanning tunneling microscopy: Image interpretation, surface relaxation, and step structure. *Am. Mineral.* 77:911-922.
- GOUY, G. 1910. Sur la contribution de la charge électrique à la surface d'un electrolyte. *J. Phys. (Paris)* 9:457-468.
- GREENLAND, D.J. y M.H.B. HAYES. 1981. *The Chemistry of Soil Processes*. John Wiley & Sons, Chichester, UK.
- HERBELIN, A.L. y WESTALL, J.C. 1994. *FITEQL. A computer program for determination of chemical equilibrium constants from experimental data. Version 3.1*. Report 94, Dept. of Chemistry, Oregon State Univ., Corvallis, Oregon.
- HIEMSTRA, T., W.H. VAN RIEMSDIJK y G.H. BOLT. 1989a. Multisite proton adsorption modeling at the soil/solution interface of (hydr)oxides: A new approach. I. Model description and evaluation of

- intrinsic reaction constants. *J. Colloid Interface Sci.* 133:91-104.
- HIEMSTRA, T., J.C.M. DE WIT y W.H. VAN RIEMSDIJK. 1989b. Multisite proton adsorption modeling at the solid/solution interface of (hydr)oxides: A new approach. II. Application to various important (hydr)oxides. *J. Colloid Interface Sci.* 133:105-117.
- HIEMSTRA, T. y W.H. VAN RIEMSDIJK. 1991. Physical chemical interpretation of primary charging behaviour of metal (hydr)oxides. *Colloids and Surfaces* 59:7-25.
- HIEMSTRA, T. y W.H. VAN RIEMSDIJK. 1996. A surface structural approach to ion adsorption: the charge distribution model. *J. Colloid Interface Sci.* 179:
- HOCELLA, JR. M.F. 1990. Atomic structure, microtopography, composition, and reactivity of mineral surfaces. pp. 97-132. En: M.F. Hochella y A.F. White (editores) *Mineral-Water Interface Geochemistry*. Reviews in Mineralogy, Volume 23. Mineralogical Society of America, Washington, D.C.
- JACKMAN, J.M., R.C. JONES, R.S. YOST y C.J. BABCOCK. 1997. Rietveld estimates of mineral percentages to predict phosphate sorption by selected Hawaiian Soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61:618-625.
- JIE, X.L., F. LIU, D.H. ZHOU, F.L. XU, X.Y. LI y D.F. WANG. 1995. Transformation of coordinate forms of phosphate adsorbed on goethite surfaces under conditions of varying pH. *Pedosphere* 5:229-235.
- LUMSDON, D.G. y L.J. EVANS. 1994. Surface complexation model parameteres for goethite (α -FeOOH). *J. Colloid Interface Sci.* 164:119-125.
- PARKS, G.A. 1967. Aqueous surface chemistry of oxides and complex oxide minerals. pp. 550-558. En: *Equilibrium Concepts in Natural Water Systems*. Advances in Chemistry Series No. 67. ACS, Washington, D.C.
- Pennell, K.D., S.A. Boyd y L.M. Abriola. 1995. Surface area of soil organic matter reexamined. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61:1012-1018.
- PERSSON, P., N. NILSSON y S. SJÖBERG. 1996. Structure and bonding of orthophosphate ions at the iron oxide-aqueous interface. *J. Colloid Interface Sci.* 177:263-275.
- QUIRK, J.P. 1955. Significance of surface areas calculated from water vapour sorption isotherms by use of the BET equation. *Soil Sci.* 80:423-429.
- RUSTAD, J.R., A.R. FELMY y B.P. HAY. 1996. Molecular statics calculations of proton binding to goethite surfaces: A new approach to estimation of stability constants for multisite complexation models. *Geochim. Cosmochim. Acta* 60:1563-1576.
- RUSTAD, J.R., A.R. FELMY y B.P. HAY. 1996. Molecular statics calculation for iron oxide and oxyhydroxide minerals: Toward a flexible model of the reactive mineral-water interface. *Geochim. Cosmochim. Acta* 60:1553-1562.
- SCHEIDEGGER, A.M. y D.L. SPARKS. 1996. A critical assessment of sorption-desorption mechanisms at the soil mineral/water interface. *Soil Sci.* 161:813-831.
- SKIPPER, N.T. 1996. Ab-initio molecular simulation of interactions between metal ions and minerals. pp. 85-108, Volume I. En: *International Workshop on Interactions of Small Solutes with Materials of Environmental Relevance*. ETH, Ascona, Suiza.
- SPARKS, D.L. 1986. *Soil Physical Chemistry*. CRC Press Inc., Boca Raton, Florida.
- SPOSITO, G. 1984. *The Surface Chemistry of Soils*. Oxford University Press, New York.
- SPOSITO, G. 1989. *The Chemistry of Soils*. Oxford University Press, New York.
- STERN, O. 1924. Zur Theorie der electrolytischen Doppelschicht. *Z. Electrochem.* 30:508-516.
- TILLER, K.G. y L.H. SMITH. 1990. Limitations of EGME retention to estimate the surface area of soils. *Aust. J. Soil Res.* 28:1-26.
- TORRENT, J., U. SCHWERTMANN y V.

- BARRÓN. 1994. Phosphate sorption by natural hematites. *Europ. J. Soil Sci.* 45:45-51.
- VENEMA, P., T. HIEMSTRA y W.H. VAN RIEMSDIJK. 1996a. Comparison of different site binding models for cation sorption; Description of pH dependency, salt dependency and cation-proton exchange. *J. Colloid Interface Sci.* 181:45-59.
- VENEMA, P., T. HIEMSTRA y W.H. VAN RIEMSDIJK. 1996b. Multi site adsorption of cadmium on goethite. *J. Colloid Interface Sci.* 183:515-527.
- WAY, J.T. 1852. On the power of soils to adsorb manure. *J. Royal Agric. Soc. Engl.* 13:123-143.
- WILD, A. (editor). 1988. *Russell's Soil Conditions and Plant Growth*, 11th edn. Longman Scientific & Technical, Harlow, Essex.

RIESGOS AMBIENTALES Y SUELOS. ENFOQUES PARA LA MODELIZACION DE LA EROSION POR CARCAVAS Y MOVIMIENTOS EN MASA

J.A. ZINCK

International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC), P.O. Box 6 - 7500 AA Enschede - The Netherlands

INTRODUCCION

Muchos riesgos ambientales, espontáneos o inducidos por acciones antrópicas, están relacionados con la cobertura edáfica de la tierra, a la vez porque están condicionados por las propiedades de los suelos y porque afectan la integridad del recurso suelo. La erosión de suelos por viento, agua y remoción en masa suministra ejemplos de estas relaciones mutuas.

Riesgos ambientales relacionados con el comportamiento y las propiedades químicas de los suelos han sido ampliamente documentados; tal es el caso de la salinización, alcalinización, acidificación, pérdida de fertilidad y polución de los suelos. El conocimiento detallado que se tiene de los procesos e interacciones químicas y la posibilidad de simularlos en laboratorio o parcelas experimentales permiten una modelización fina. Algunos procesos físico-mecánicos, como la compactación de suelos, también han sido objeto de modelos avanzados.

En cambio, la modelización de los procesos de erosión mecánica, ya sea por viento, agua o movimientos en masa, es todavía esencialmente empírica, tal como lo muestra la ecuación universal de pérdida de suelos (USLE). Las relaciones entre la naturaleza del material edáfico

y los procesos morfogenéticos involucrados en la erosión hídrica y eólica son complejas y difíciles de encapsular en ecuaciones matemáticas o modelos determinísticos.

Entre los procesos de erosión mecánica, los que generan las amenazas más severas para el uso y la preservación de los suelos son los movimientos en masa y las cárcavas. Son los que causan los daños más cuantiosos en términos de pérdidas en recursos naturales, bienes materiales y vidas humanas. En ambos casos, el material suelo a la vez condiciona la iniciación y el desarrollo de los fenómenos, y se encuentra afectado por ellos. Existen también relaciones dinámicas entre cárcavas y movimientos en masa. Frecuentemente, pequeños deslizamientos o desplomes de tierra se transforman en cabeceras de cárcavas. Las cárcavas, a su vez, pueden evolucionar lateralmente por movimientos en masa. La complejidad de los procesos y de las interacciones, el carácter generalmente catastrófico de los eventos y las dificultades de predecir su ocurrencia espacial y temporal son tantos factores que hacen la modelización engorrosa.

El desarrollo de las técnicas modernas de observación de la tierra, en particular la facilidad de obtener series temporales de datos de teledetección, no solamente mejora las posibi-

lidades cartográficas a escala global (por imágenes satelitarias), pero también favorece el monitoreo a nivel local (por videografía). Igualmente, el advenimiento de los sistemas de información geográfica (SIG) permite la combinación de estratos de datos múltiples y la simulación espacial, para explorar relaciones de causa a efecto.

Después de presentar una revisión sucinta de las tendencias actuales en modelizar erosión de suelos y riesgos ambientales, como marco de referencia general, se abordan consideraciones sobre diversos enfoques para modelizar la erosión de suelos por cárcavas y movimientos en masa, implementando facilidades de SIG.

TENDENCIAS EN LA MODELIZACION AMBIENTAL Y DE EROSION

1 Modelos ambientales

Los modelos ambientales varían desde modelos de carga crítica de polución para escalas locales y regionales, hasta modelos de cambio climático global (Valenzuela and Zinck, 1994). Cargas críticas se refieren a la cantidad máxima de deposición acidificante, principalmente de azufre y nitrógeno, que un ecosistema puede recibir sin sufrir daños a largo plazo en su estructura y sus funciones. En países industrializados, la acidificación de suelos y, consecuentemente, de lagos y ríos es causada por la entrada de productos ácidos a las cuencas, principalmente por la polución aérea de larga distancia. La única fuente de alcalinización a largo plazo para neutralizar esta acidificación la constituye la meteorización de minerales en los suelos.

Las cargas críticas pueden calcularse usando modelos empíricos y modelos orientados a procesos, incluyendo los modelos de simulación dinámica y los modelos de estado fijo. Por ejemplo, el método Steady-State Water Chemistry (SSWC) determina excedentes de acidez total en relación a cargas críticas permisibles. En contraste, el método First-order Acidity Balance (FAB) considera los procesos

que controlan el balance de acidez de una cuenca (Henriksen et al., 1993). Similarmente, el modelo de estado fijo PROFILE y su versión dinámica SAFE calculan cargas críticas a partir de los umbrales químicos permisibles para indicadores biológicos seleccionados. Como datos de entrada, ambos modelos usan propiedades relevantes de los suelos tales como espesor de los horizontes, profundidad a la roca madre, distribución del tamaño de partículas de cada horizonte, minerales meteorizables en el horizonte B, regímenes de temperatura y humedad de los suelos, junto con otros parámetros ambientales (Sverdrup et al., 1992).

Similarmente, los modelos de cambios climáticos globales necesitan información de suelos, ya que la producción, el consumo y la emisión de gases de invernadero son afectados por los procesos físicos, químicos y biológicos que ocurren en el manto edáfico. La información relativa a la geografía de los suelos, manejada mediante un SIG, es indispensable para extrapolar datos puntuales sobre emisiones y flujos de gases a ecosistemas de escala global. El doblamiento estimado de CO₂ atmosférico, desde la época pre-industrial hasta el principio del siglo 21, ha sido usado como criterio principal para construir modelos de circulación climática general (GCM). Estos modelos predicen una elevación global de la temperatura de 2 a 5° C a mediados del próximo siglo. El calentamiento atmosférico global deriva del incremento en concentraciones de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido de nitrógeno (N₂O) en el aire. Los suelos, como componente del ecosistema, contribuyen al balance de los gases de invernadero ambos como una fuente y como un receptáculo, en particular en zonas críticas de emisión de gases tales como las áreas sujetas a deforestación o desertificación, campos de arroz, áreas de hielo permanente y depósitos de basura (Bouwman, 1990).

2 Modelos de pérdida y conservación de suelos

Los modelos para estimar pérdidas de sue-

los pueden clasificarse en dos categorías: (1) empíricos y (2) analíticos (Loran et al., 1988). Los modelos empíricos operan por tratamiento estadístico de amplios conjuntos de datos de suelos y datos de precipitación correspondientes a largos períodos de registro. Los mismos generan resultados que son específicos del lugar y no explican los procesos involucrados. Ecuaciones de pérdidas de suelos derivadas estadísticamente necesitan, por lo tanto, substanciales ajustes cuando se aplican en áreas fuera del lugar donde se diseñaron (por ejemplo, el modelo USLE). En contraste, los modelos analíticos intentan predecir las pérdidas de suelos en base a los procesos actuantes. Debido a su complejidad, requieren validación y cali-

bración precisa (por ejemplo, el modelo ANSWERS). Se necesitan grandes series de datos para satisfacer la simulación de procesos. Algunos modelos de erosión incluyen mecanismos para seleccionar prácticas de conservación de suelos y evaluar su efectividad económica (por ejemplo, los modelos COST y SOILEC). La tabla 1 incluye algunos de los modelos de erosión de suelos más usados (de Roo, 1993).

ENFOQUE DETERMINISTICO

Existen parámetros cuantitativos y ecuaciones empíricas para caracterizar la relativa estabilidad de un material suelo en el paisa-

Tabla 1. Colección de modelos de erosión (de Roo, 1993)

ACRONYM	NAME	YEAR	PROCESSES
USLE	UNIVERSAL SOIL LOSS EQUATION	1958	E
MUSLE	MODIFIED USLE	1975	E
RUSLE	REVISED USLE	1987	E
MUSLE87	MODIFIED USLE 1987	1987	E
dUSLE	DIFFERENTIATED USLE	1990	E
SLEMSA	SOIL LOSS ESTIMATOR FOR SOUTH AFRICA	1981	E
CREAMS	CHEMICAL RUNOFF AND EROSION FROM AGRICULTURAL MANAGEMENT SYSTEMS	1980	ERNP
GLEAMS	GROUNDWATER LOADING EFFECTS OF AGRICULTURAL MANAGEMENT SYSTEMS	1987	ERNP
ARM	AGRICULTURAL RUNOFF MODEL	1978	ERNP
MMF	MORGAN/MORGAN/FINNEY	1984	E
EPIC	EROSION PRODUCTIVITY IMPACT CALCULATOR	1984	ERNP
KYERMO	KENTUCKY EROSION MODEL	1988	ER
WEPP	WATER EROSION PREDICTION MODEL	1989	ER
EROSION2D	2-D RAINFALL EROSION MODEL	1989	ER
MEDALUS	MEDITERRANEAN DESERTIFICATION AND LAND USE	1992	ERC
CSU	COLORADO STATE UNIVERSITY MODEL	1977	ER
ANSWERS	AREAL NONPOINT SOURCE WATERSHED ENVIRONMENT RESPONSE SIMULATION	1977	ER
KINEROS	KINEMATIC EROSION SIMULATION	1981	ER
EUROSEM	EUROPEAN SOIL EROSION MODEL	1991	ER

E = erosion; R = runoff; N = nutrients; P = pesticides; C = crop growth

je o, inversamente, su susceptibilidad a moverse en masa. La resistencia al corte, como capacidad del suelo para resistir a tensiones tangenciales, puede estimarse mediante la ecuación de Coulomb. El valor "n" de Pons y Zonneveld permite evaluar la resistencia a la subsidencia de materiales edáficos inmaduros, derivados de sedimentos lacustres o marinos. El COLE (coeficiente de extensibilidad lineal) es una aproximación sencilla del potencial de contracción-expansión. Los límites de Atterberg permiten caracterizar el comportamiento mecánico del material suelo bajo diferentes contenidos de humedad. Pero, no existen modelos operacionales que relacionen estos parámetros con los procesos de movimientos en masa. Para subsanar esta carencia, un enfoque (pseudo-) determinístico consiste en comparar umbrales críticos de variables y establecer relaciones conceptuales entre variables y procesos, para identificar riesgos de movimientos en masa.

Los movimientos en masa, como las cárcavas, son fenómenos caóticos. Ocurren cuando los términos de una situación de equilibrio meta-estable cambian drásticamente y repentinamente. Los factores activadores no son de naturaleza edáfica (lluvias anormales, actividad sísmica). Muchos de los factores condicionantes tampoco son edáficos, tales como la cobertura vegetal, la topografía, la morfodinámica, la estructura geológica y el comportamiento geohidrológico. Pero, el material edáfico puede tener una propensión intrínseca para moverse en masa, básicamente a través de sus propiedades mecánicas e hídricas y a través de los contrastes reológicos entre los horizontes genéticos, susceptibles de funcionar como planos de cizallamiento. Cuando los contenidos de humedad presentes en el manto edáfico, en un determinado período del año, exceden la capacidad de retención de agua por el suelo o superan los límites de Atterberg, un riesgo de movimiento en masa se origina. Una simple comparación gráfica entre perfiles hídricos y perfiles de consistencia de los suelos, establecidos en series temporales, permite iden-

tificar áreas donde, en períodos críticos del año, existe un potencial de movimiento.

Las figuras 1 y 2 se refieren a un caso ilustrando las consideraciones anteriores. El ejemplo corresponde a un sitio de selva nublada en el Parque Nacional Henri Pittier, Rancho Grande, Cordillera de la Costa, en el norte de Venezuela (Zinck, 1986, 1996). La abundancia de lluvias ocasiona, durante la mayor parte del año, contenidos efectivos de humedad edáfica superiores a los valores de límites de consistencia y a la capacidad de retención de agua por los suelos. Los riesgos de movimientos en masa son por lo tanto latentes, pero controlados por la eficiente protección que asegura la cobertura densa de la selva nublada, a pesar de lo escarpado de las vertientes. Datación radiocarbónica de depósitos de flujo torrencial en el piedemonte meridional de la cordillera indica que eventos catastróficos tuvieron lugar alrededor de 6.000 y 1.500 años BP. Un evento similar a los del pasado Holocénico ocurrió el día 6 de septiembre de 1987, como consecuencia de una lluvia diluvial de 174 mm en 4 horas y 30 minutos. Una cantidad de agua superior a la capacidad de retención de los suelos y normal posibilidad de evacuación por percolación profunda fué introducida en la cobertura edáfica en un lapso de tiempo sumamente corto. Se originaron deslizamientos en plancha de tierra, rocas y troncos de árboles en las vertientes montañosas. Aguas abajo, un alud torrencial sepultó bajo una espesa capa de escombros y lodo la planicie de inundación densamente poblada del río El Limón, en las cercanías de la ciudad de Maracay. Un saldo de varios centenares de muertos y daños materiales estimados en más de 2.5 millones de dólares resultaron del evento catastrófico.

La combinación de datos puntuales referidos a umbrales críticos con la información espacial del mapa de suelos permite la extrapolación y zonificación de riesgos, usando las facilidades de un SIG. Las simples relaciones gráficas entre perfiles hídricos y mecánicos podrían ser la semilla para establecer modelos rexiológicos, con fines de investigar y simular

condiciones de suelo y humedad susceptibles de causar rupturas en el equilibrio del manto edáfico. Un enfoque determinístico, relacionando la organización del material edáfico a nivel de micro-fábrica, la consistencia del material a diferentes niveles de humedad y la respuesta geomorfológica, podría servir de marco conceptual básico para modelizar (Tabla 2).

ENFOQUE EXPLORATORIO

Modelos exploratorios intentan identificar relaciones no explícitas de causa a efecto entre

tipos de riesgos ambientales (por ejemplo, tipos de procesos de erosión) y tipos de suelos afectados para, a partir de estas relaciones, establecer predicciones sobre áreas de suelos potencialmente expuestas a la degradación.

Un modo exploratorio frecuentemente implementado, porque es una operación relativamente simple en un SIG, es la modelización cartográfica (Bocco et al., 1990). La superposición de estratos de información, usualmente representados por una serie de mapas temáticos o mono-atributos, permite realzar áreas de coincidencia entre factores controlando la erosión de suelos y rasgos resultando de la erosión.

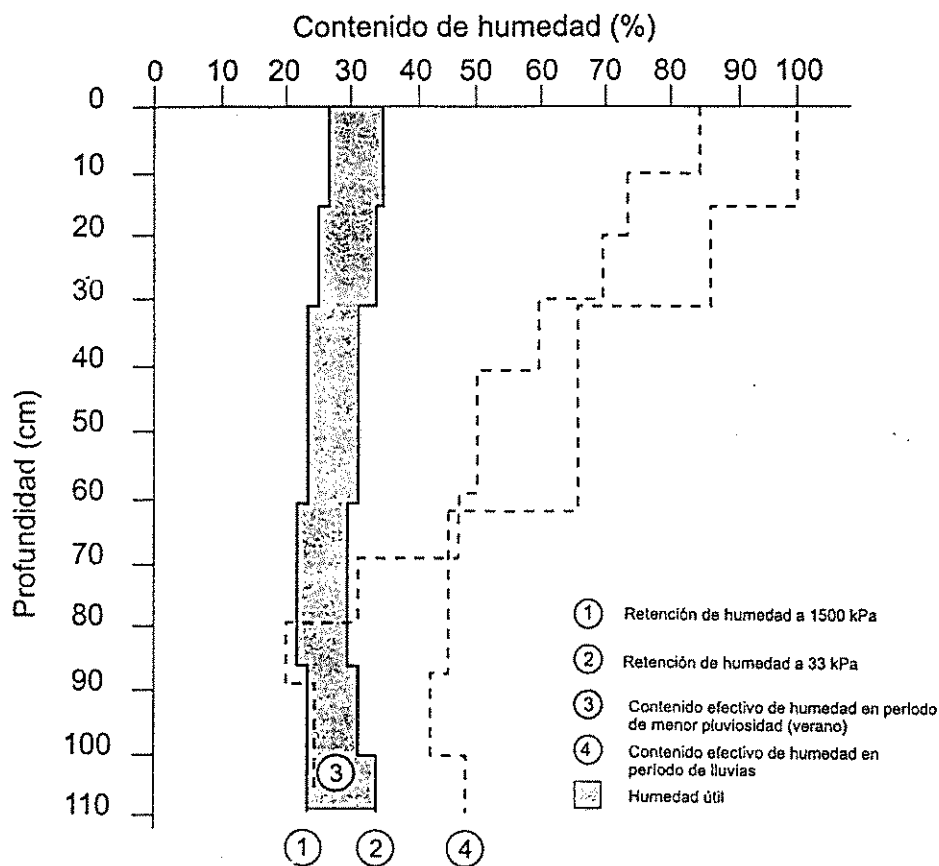


Figura 1. Perfiles hídricos en suelos de Rancho Grande (Zinck, 1986)

Tabla 2. Influencia de la fábrica y consistencia del material edáfico en la generación de movimientos en masa (Zinck, 1996)

FABRICA	ESTADO DEL MATERIAL	MOVIMIENTO EN MASA
Desfloculada	Líquido	Flujo de lodo
Dispersa	Plástico	Solifluxión
Agregada	Semi-sólido	Deslizamiento
Floculada	Sólido	Meta-estabilidad
Organización del material edáfico	Propiedad de suelo (consistencia, límites de Atterberg)	Proceso morfogénético (respuesta geomorfológica)
→	→	

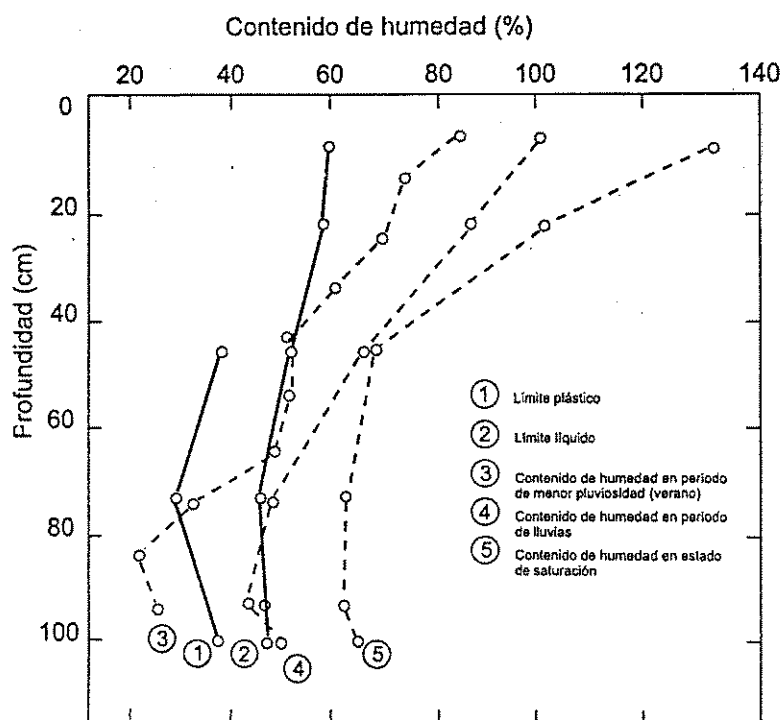


Figura 2. Perfiles hídricos y perfiles de consistencia en suelos de Rancho Grande (Zinck, 1986)

Los rasgos de erosión, dejados por el carcavamiento o la remoción en masa, no se distribuyen al azar. Los mismos se desarrollan en respuesta a una combinación de factores. La simple superposición de un mapa de distribución de cárcavas sobre mapas representando factores ambientales individuales, como son geoformas, pendiente, litología, suelos y uso de las tierras, conduce a identificar el grado de coincidencia espacial entre cárcavas y factores. Esta coincidencia cartográfica puede considerarse como una indicación de relaciones subyacentes de causa a efecto.

En un área situada aproximadamente a 100 km al noreste de Ciudad México, en la municipalidad de Huasca de Ocampo, estado de Hidalgo, se ha realizado un ejercicio de modelización

cartográfica por superposición de una mapa de cárcavas sobre una serie de mapas factoriales (Vázquez-Selem and Zinck, 1994). La relación espacial entre cárcavas y pendiente, por ejemplo, se ilustra en la figura 3. De acuerdo a la frecuencia de distribución, cerca de la mitad del área carcavada corresponde a un estrecho rango de pendientes entre 4 y 7%. Por lo tanto, la erosión en cárcavas no aumenta proporcionalmente al gradiente de la pendiente y, en este sentido, se aparta substancialmente de los principios que gobiernan la erosión laminar y en surcos.

Similarmente, la superposición del mapa de cárcavas al mapa de suelos revela que la mayoría de las cárcavas se desarrolla en Alfisoles (Fig. 4). Cerca de 90% de la superficie carcavada de toda el área de estudio se concentra sobre

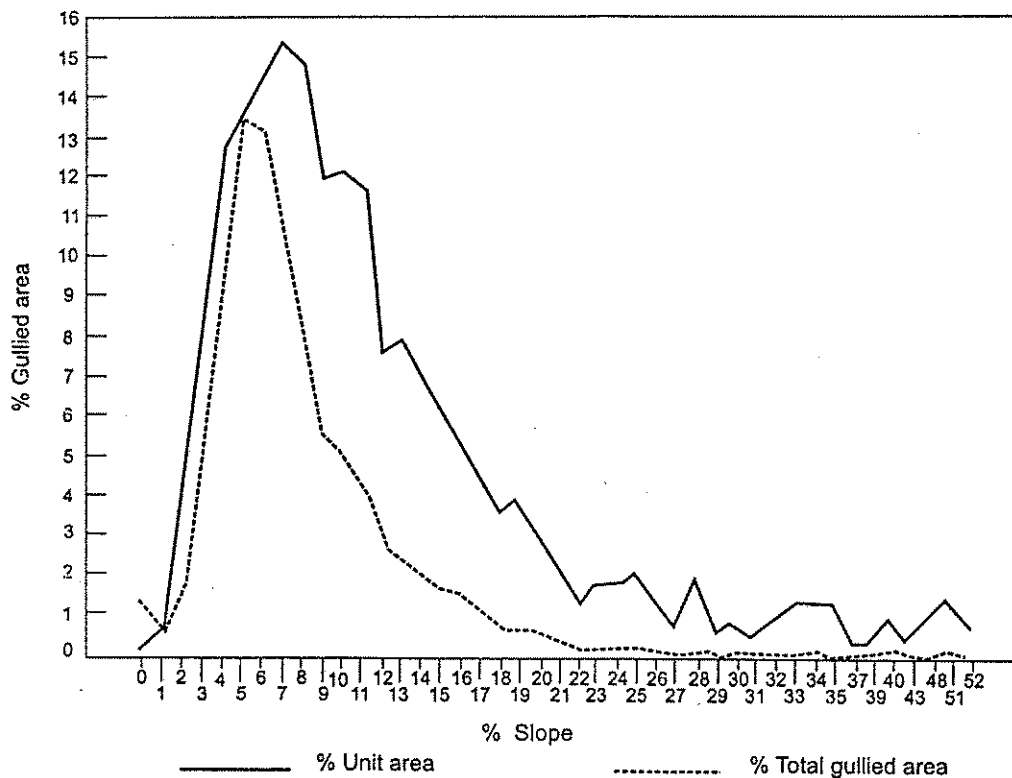


Figura 3. Superficies con cárcavas por gradientes de pendiente (Vázquez-Selem and Zinck, 1994).

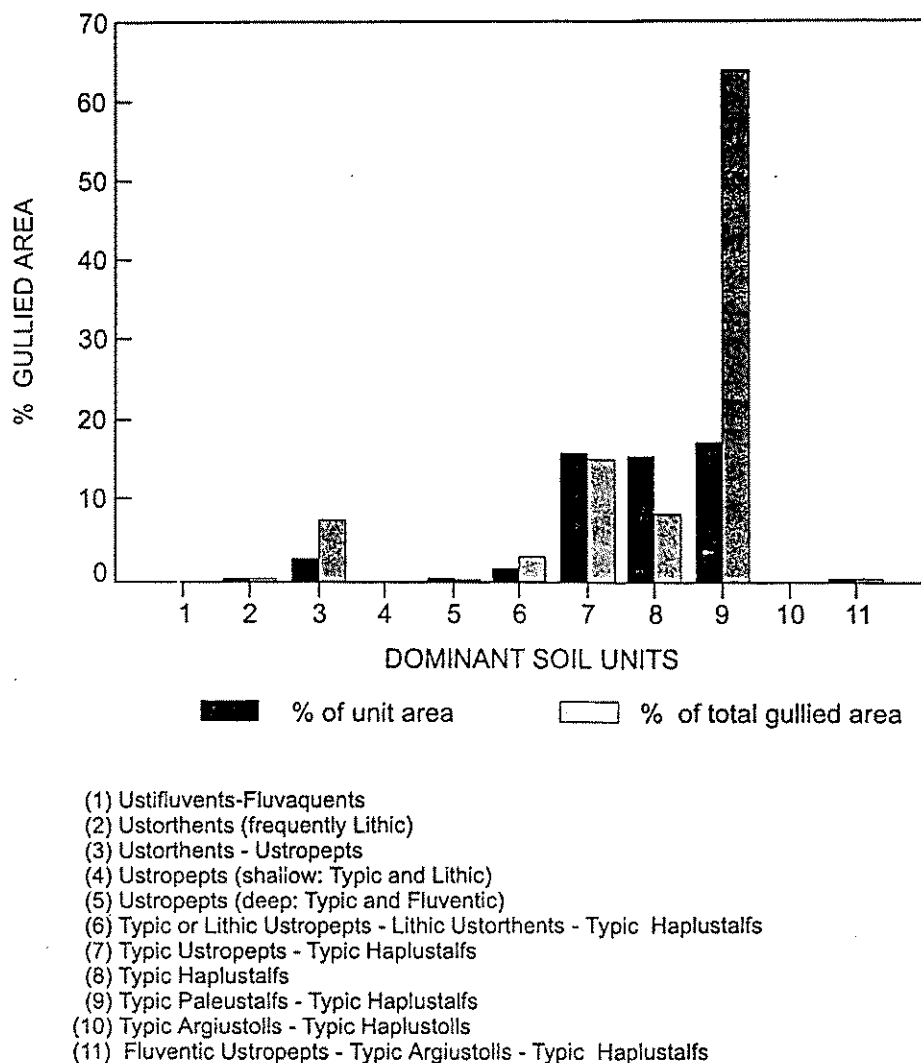


Figura 4. Superficies con cárcavas por unidades de suelos dominantes (Vázquez-Selem and Zinck, 1994)

profundos Paleustalfs, a pesar de que estos representan apenas el 36% del perímetro total. Los Alfisoles del área en consideración están compuestos de dos capas mayores: una cobertura coluvial de 40 a 60 cm de espesor, reposando sobre un suelo truncado a nivel del horizonte Bt. La superficie de discontinuidad entre los dos materiales está jalonada por antiguos artefactos

humanos (2400 años BP). La diferencia de permeabilidad entre la cobertura coluvial y el substrato más arcilloso favorece el escurrimiento hipodérmico lateral, el cual inicia la formación de cárcavas. En contraste, las áreas de Mollisoles están virtualmente libres de cárcavas, a pesar de que estos suelos ocurren en condiciones similares de pendiente y uso de las tierras.

ENFOQUE PREDICTIVO

Los modelos predictivos, usualmente implementados en SIG, se basan en reglas y conocimiento experto. No tienen capacidad determinística, porque no simulan ni explican los mecanismos involucrados en la formación de cárcavas o la remoción en masa. Estos modelos se construyen a partir de los resultados del análisis exploratorio, que identifica relaciones de causa a efecto en base a la coincidencia espacial entre rasgos de erosión observados (cárcavas, deslizamientos) y factores del paisaje. Ninguno de estos modelos puede tomar en cuenta, para efectos de predicción, el papel que desempeñan los factores activadores (precipitaciones catastróficas, terremotos) en el desencadenamiento de los procesos. Las reglas se basan esencialmente en los factores condicionantes del medio ambiente (pendiente, cobertura vegetal, litología) y en algunas propiedades edáficas. Este tipo de modelo permite (1) reproducir la distribución espacial de las cárcavas existentes, y (2) predecir el potencial de ocurrencia de cárcavas en áreas donde las condiciones son favorables.

Como ejemplo de aplicación de las consideraciones anteriores, se ha desarrollado una serie de modelos para confirmar la ocurrencia de cárcavas observadas y estimar la ocurrencia de cárcavas potenciales en el área de Huasca, México central, antes mencionada (Vázquez-Solem and Zinck, 1994). En este caso, las reglas utilizadas se basan exclusivamente en el porcentaje áreal, que ocupan las cárcavas observadas en las unidades cartográficas de los mapas temáticos representando los factores ambientales. Se seleccionaron seis factores ambientales, asumidos de contribuir de una manera u otra a la formación de cárcavas: geoformas, unidades litológicas, gradientes de pendiente, formas de pendiente, suelos dominantes y usos de las tierras. Se implementaron dos criterios de porcentaje áreal: (1) el porcentaje de área carcavada en relación a la superficie de cada unidad de mapa temático, y (2) el porcentaje de área

carcavada de cada unidad de mapa temático en relación a la superficie total de las cárcavas observadas (562 ha) en el perímetro de estudio (8009 ha). Se consideró más diagnóstico el primer criterio que el segundo, porque es independiente de la superficie total carcavada y refleja por lo tanto mejor la susceptibilidad intrínseca de cada unidad de mapa temático a la formación de cárcavas. Los umbrales críticos de porcentajes áreales, para establecer límites de clases, fueron determinados por iteración en base a los gráficos de distribución de frecuencia del porcentaje de superficie carcavada por clases de factores ambientales (Figs. 3 y 4).

Con estas reglas se establecieron por tanteo seis modelos, con restricciones decrecientes del primero al sexto (Tabla 3). Por ejemplo, el modelo 1 toma en consideración solamente las unidades de los mapas temáticos con altos porcentajes de área carcavada (más de 10% o más de 15% según el factor ambiental considerado). Una tal combinación de reglas es altamente selectiva, ya que pocas unidades satisfacen estos requerimientos. En consecuencia, el área de cárcavas calculada por el modelo 1 es pequeña. Pero, al mismo tiempo, el modelo puede considerarse como eficiente, porque una gran proporción del área carcavada calculada corresponde a cárcavas observadas. Los demás modelos operan con reglas menos restrictivas por orden decreciente.

En la figura 5, se representa la eficiencia relativa de los diversos modelos por su capacidad de corroborar cárcavas observadas. La superficie actual de cárcavas es de 562 ha, equivalente al 7% del perímetro de estudio. Un modelo ideal confirmaría 100%¹ de la superficie carcavada con solamente 7% del perímetro de estudio. Por lo tanto, el modelo más eficiente es el que se acerca a este rendimiento ideal. Para estimar la eficiencia de los modelos, la superficie carcavada total calculada por cada modelo se compara con el porcentaje áreal de las cárcavas existentes adecuadamente confirmadas. En base al criterio anterior, los modelos 2b, 3a, 3b y 4a resultan ser buenos predictores.

Tabla 3. Modelos espaciales basados en reglas para la predicción de cárcavas (Vázquez-Selem and Zinck, 1994).

	Geopedologic map (1)	Lithologic map	Slope gradient map	Slope shape map	Dominant soil map	Landuse map
Model 1	>15% unit area	>15% unit area	>10% unit area	>15% unit area	>15% unit area	>10% unit area
Model 2	[>10% unit area and >10% total gullied area] or >15% unit area	>15% unit area or >30% total gullied area	>5% unit area or >5% total gullied area	>10% unit area or >20% total gullied area	>10% unit area	>5% unit area
Model 3	>5% unit area	>5% unit area and >5% total gullied area	>5% unit area or >5% total gullied area	>5% total gullied area	>5% unit area	>3% unit area
Model 4	>2% unit area	>2% unit area	>2% unit area	>2% unit area	>2% unit area	>2% unit area
Model 5	>0% unit area	>0% unit area	>0% unit area	>0% unit area	>0% unit area	>0% unit area
Model 6	no gullies	no gullies	no gullies	no gullies	no gullies	no gullies

(1) Only geomorphic component of the geopedologic map taken into account

Examples:

">15% unit area" means that only units in which gullies cover >15% of the area of the unit will be considered in the model's calculations

">5% total gullied area" means that only units that contain >5% of the total gullied area within the study area will be considered in the model's calculations

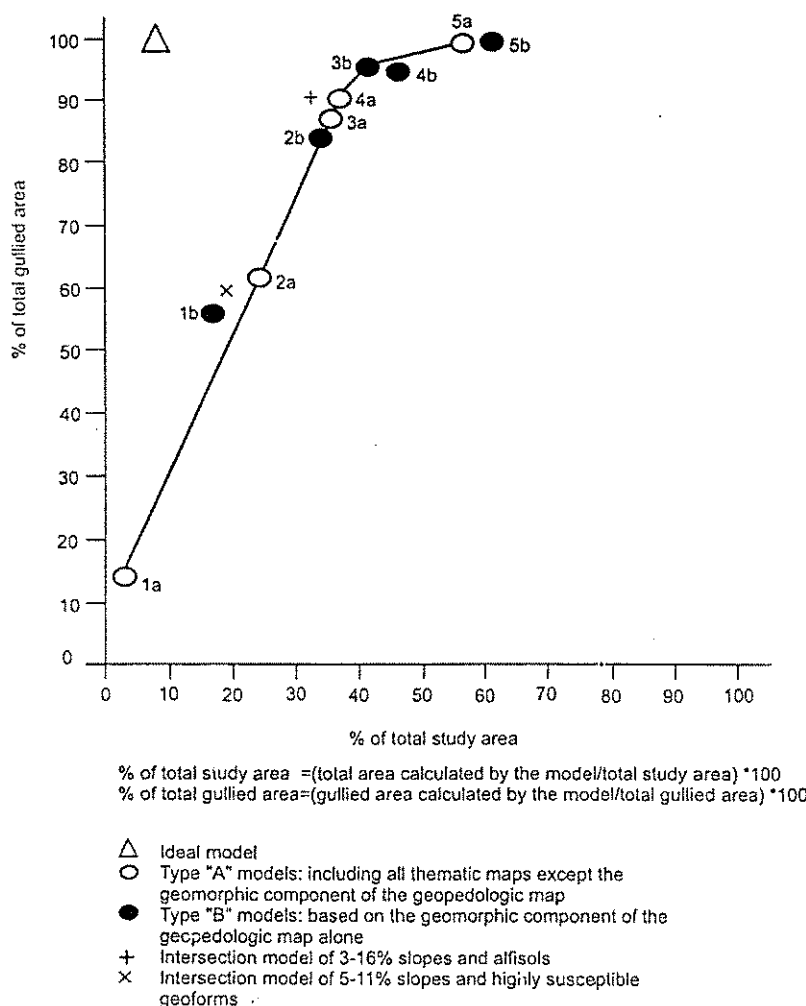


Figura 5. Eficiencia relativa de los modelos para predecir cárcavas (Vázquez-Selem and Zinck, 1994)

Además de confirmar cárcavas existentes, los modelos pueden también identificar áreas que reúnen condiciones favorables al desarrollo potencial de cárcavas. Como los modelos están ordenados por orden decreciente de restricciones, esta secuencia representa también una escala decreciente de severidad de riesgos. El modelo 1 identifica, por lo tanto, áreas de alto riesgo para futura iniciación de cárcavas; los modelos 2 a 6 señalan grados de riesgo decrecientes (Fig. 6).

En vez de basarse en consideraciones puramente áreales, los modelos predictivos pueden utilizar directamente parámetros concretos para describir los factores ambientales y establecer clases de severidad de riesgos. En el valle del río Coello, departamento del Tolima, en la cordillera central de los Andes Colombianos, se estableció un modelo para identificar áreas favorables al desarrollo potencial de movimientos en masa en coberturas de cenizas volcánicas

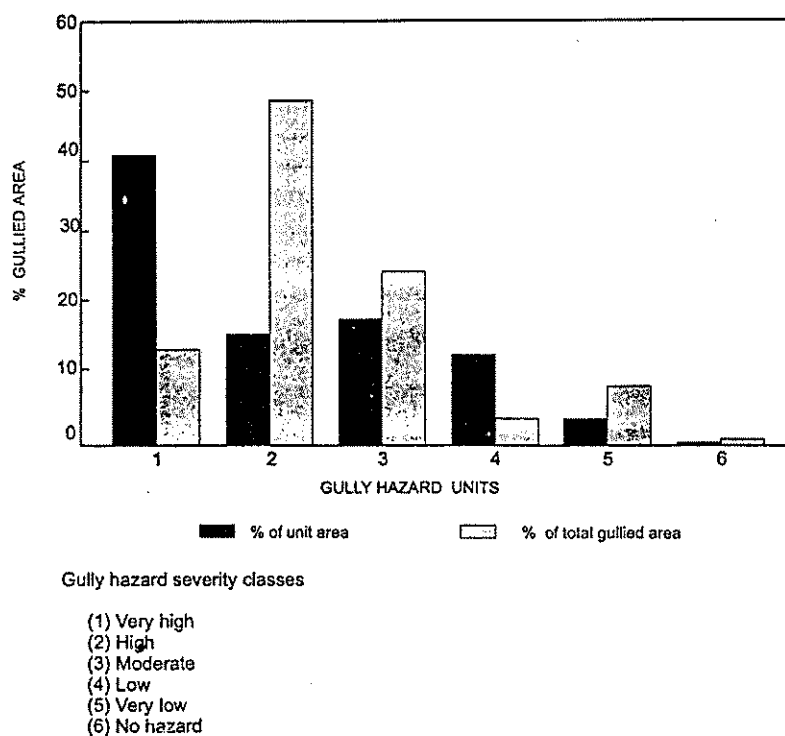


Figura 6. Grados de riesgo para la formación de cárcavas (Vázquez-Selem and Zinck, 1994)

(Lopez and Zinck, 1991). Como criterios se usaron clases de pendiente y clases de susceptibilidad del material, en base a sus propiedades físico-mecánicas, además de la presencia de movimientos en masa observados. De esto resultó un mapa representando clases de severidad en los riesgos de producirse movimientos en masa en el futuro (Fig. 7). Para la zonificación de riesgos, se utilizó un mapa geopedológico como vector para extrapolar sobre la cuenca del río Coello el modelo causal establecido en áreas-muestra. Previo a la extrapolación, se validó la homogeneidad estructural de la población de suelos y la homogeneidad espacial de las unidades geopedológicas, verificando la normalidad de los parámetros seleccionados y usando geoestadística para caracterizar la variabilidad espacial.

ENFOQUE EVOLUTIVO

La estimación de riesgos ambientales puede mejorarse, si se tiene información sobre la velocidad de progresión y dirección de desarrollo de los fenómenos de erosión. Esta información sobre la dinámica espacial y temporal de los fenómenos requiere monitoreo.

Tradicionalmente, se han utilizado técnicas de campo (estacas) para medir cambios en la erosión de suelos y, en particular, para seguir el ensanchamiento y el retroceso de las cabeceras de cárcavas. Más recientemente, mapas fotogramétricos y fotografías aéreas a gran escala han sido implementados para los mismos fines. Imágenes satelitarias son adecuadas para identificar rasgos de erosión de suelos a escala regional. Una nueva técnica, promisoría especialmente por

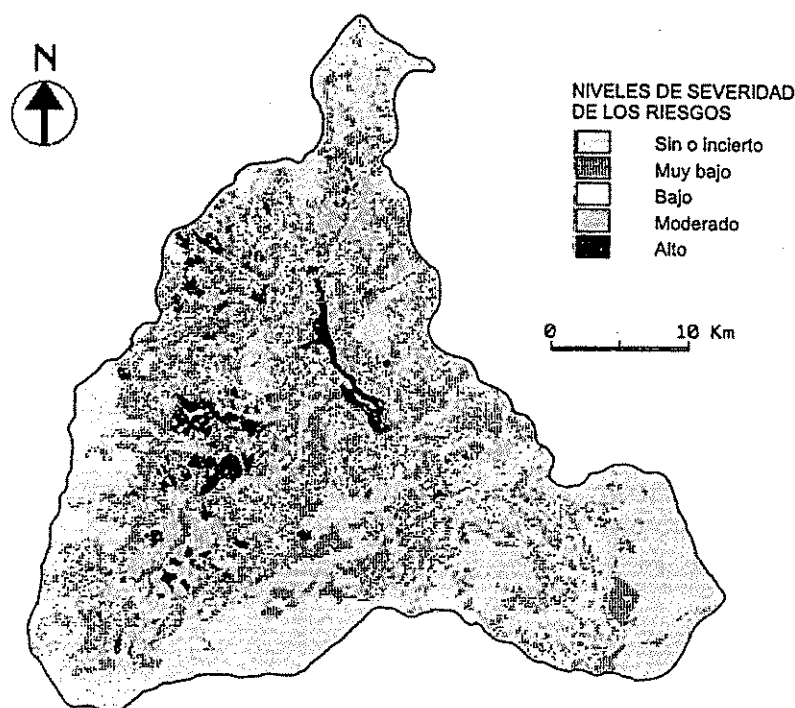


Figura 7. Riesgos de movimientos en masa en el valle del río Coello (Lopez and Zinck, 1991)

su alta resolución espacial, es la videografía basada en la adquisición y el procesamiento de imágenes obtenidos con cámaras de video.

En el área de Huasca de Ocampo (México central), anteriormente mencionada, se colectaron series temporales de imágenes de video, para monitorear la progresión espacial de cárcavas en un período de 18 meses (Palacio-Prieto and López-Blanco, 1994). Las imágenes fueron tomadas desde una altura de aproximadamente 100 m, a partir de una plataforma suspendida a un globo plástico inflado al helio, y posteriormente digitalizadas. Se corrigieron las distorsiones geométricas, para obtener documentos ortogonales que permitan identificar cambios en la configuración de las cárcavas y medir su expansión. Los tamaños de pixel de las imágenes digitales estaban entre 1 y 5 cm, lo que permitió alta precisión en la detección de detalles. Dos

cabeceras de cárcava fueron investigadas. En la primera, larga de 7 m, la pérdida de superficie de suelo fue de 1.5 m² en 18 meses, con un retroceso promedio de 215 cm² por metro de cabecera de cárcava y retrocesos máximos de 28 y 60 cm (Fig. 8). En la segunda, larga de 62 m, la pérdida total de superficie de suelo fue de 4 m² en 12 meses, con un retroceso promedio de 128 cm² por metro de cabecera de cárcava y retrocesos máximos de 30 y 45 cm (Fig. 9). Este ejemplo muestra el beneficio que se puede derivar de imágenes de video, para seguir la evolución de fenómenos de erosión acelerada y para decidir sobre eventuales medidas de protección.

CONCLUSION

Cárcavas y movimientos en masa constitu-

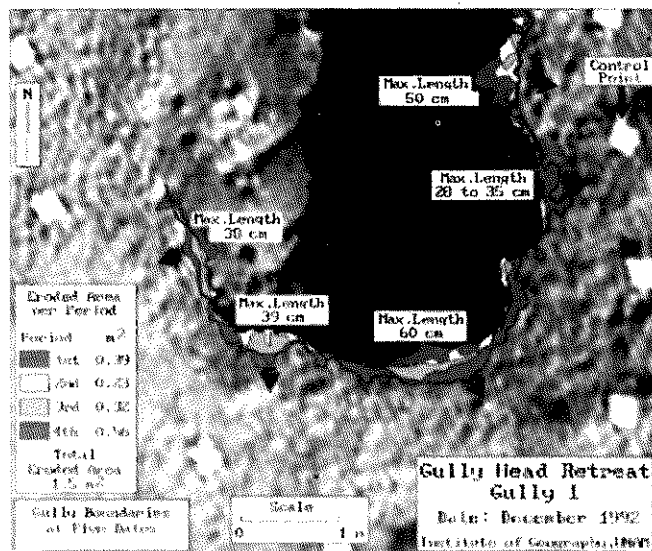


Figura 8. Pérdida de superficie por erosión en cárcava (sitio 1) entre junio 1991 y diciembre 1992. (Palacio-Prieto and López-Blanco, 1994)

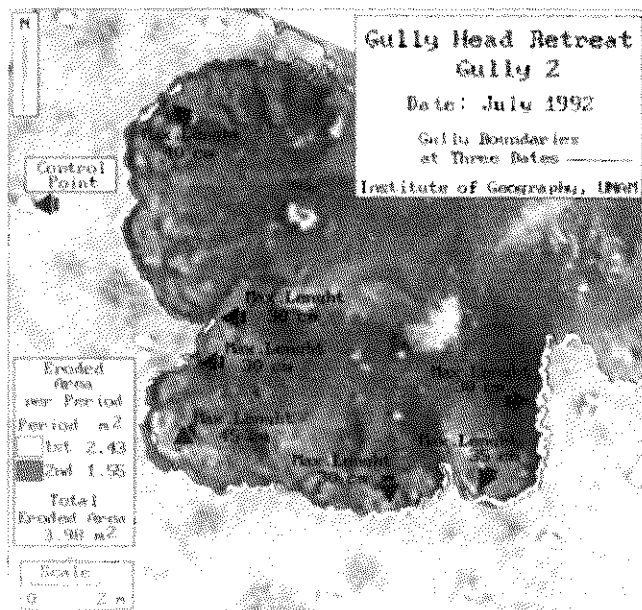


Figura 9. Pérdida de superficie por erosión en cárcava (sitio 2) entre agosto 1991 y julio 1992. (Palacio-Prieto and López-Blanco, 1994)

yen riesgos ambientales muy severos por los cuantiosos daños que causan y la dificultad de controlarlos. Debido a la complejidad de su dinámica de formación y evolución, son difíciles de analizar mediante modelos determinísticos. Enfoques más empíricos, basados en modelos de reglas y conocimiento experto e implementados en SIG, permiten explorar relaciones entre factores de formación de los fenómenos y su distribución espacial, seguir su evolución e identificar áreas potencialmente expuestas a riesgos.

BIBLIOGRAFIA

- BOCCO, G., PALACIO J. and C.R. VALENZUELA. 1990. Gully erosion modelling using GIS and geomorphic knowledge. *ITC Journal* 1990-3: 253-261.
- BOUWMAN, A.F. (ed). 1990. *Soils and the greenhouse effect*. John Wiley and Sons, Chichester, UK.
- HENRIKSEN, A., FORSIUS, M., KAMARI, J., POSCH, M. and A. WILANDER. 1993. Exceedance of critical loads for lakes in Finland, Norway and Sweden: reduction requirements for nitrogen and sulphur deposition. Norwegian Institute for Water Research (NIVA), *Acid Rain Research Report* 32, Oslo.
- LOPEZ, J. and J.A. ZINCK. 1991. GIS-assisted modelling of soil-induced mass movement hazards: A case study of the upper Coello river basin, Tolima, Colombia. *ITC Journal* 1991-4: 202-220.
- LORAN, T., ZINCK, J.A. and K.J. BEEK. 1988. Management, conservation and erosion database. In: S. Rimvanich (ed.), *Land conservation for future generations. Proc. V Int. Soil Conservation Conference*, Bangkok, Thailand, Vol. 1: 37-62.
- PALACIO-PRIETO, J.L. and J. LÓPEZ-BLANCO. 1994. Videography: an alternative remote sensing tool for monitoring gully erosion. *ITC JOURNAL* 1994-3: 233-237.
- ROO, A.P.J. DE. 1993. *Modelling surface runoff and soil erosion in catchments using geographical information systems. Validity and applicability of the ANSWERS model in two catchments in the loess area of South Limburg (The Netherlands) and one in Devon (UK)*. Faculty of Geographical Sciences, Utrecht University, The Netherlands.
- SVERDRUP, H., WARFVINGE, P., RABENHORST, M., JANICKI, A., MORGAN, R. and M. BOWMAN. 1992. Critical loads and steady state chemistry for streams in the state of Maryland. *Environmental Pollution* 77: 195-203.
- VALENZUELA, C.R. and J.A. ZINCK. 1994. Information technology requiring soil data. *Proceedings 15th World Congress of Soil Science*, Acapulco, Mexico, Vol. 6a: 20-39.
- VÁZQUEZ-SELEM, L. and J.A. ZINCK. 1994. Modelling gully distribution on volcanic terrains in the Huasca area, central Mexico. *ITC Journal* 1994-3: 238-251.
- ZINCK, J.A. 1986. Propiedades y estabilidad mecánicas de los suelos en ambiente de selva nublada. In: O. Huber (ed.), *La selva nublada de Rancho Grande, Parque Nacional Henri Pittier*. Fondo Edit. Acta Cient. Venez. y Seguros Anauco C.A., Caracas, pp. 91-105.
- ZINCK, J.A. 1996. La susceptibilidad de los suelos a la erosión por movimientos en masa. Conferencia especial a las montañas tropicales húmedas. In: J. Aguilar R., A. Martínez R. y A. Roca R. (eds.), *Evaluación y Manejo de Suelos*. Junta de Andalucía - SECS - Universidad de Granada, pp. 25-48.

THE SOIL COVER : VERTICAL AND LATERAL MORPHOLOGY AND FUNCTIONING

(extended summary)
by ALAIN RUELLAN

THE SOIL COVER

Soil cover is a continuous **natural body** that has **three spatial and one temporal dimensions**. The main features of the soil cover are of three types :

- 1- It is formed by **constituents**, mineral and organic, which can be solid, liquid, gaseous.
- 2- These constituents are **organized** between them, thus forming **structures** which are **specific** of the pedological medium. These structures are the morphological aspect of the soil cover, equivalent to the anatomy of the living being. These structures result from the **history** of the soil cover and from its **actual dynamics and properties**. So, the study of the soil cover structures permits to know about the physical, chemical, biological properties ; it permits to understand the past and the present of the soil ; it permits to make a prevision about the future of the soil cover.
- 3- The soil cover is in **perpetual evolution** : this confers to the soil cover its fourth dimension which is temporal.

THE STRUCTURE OF THE SOIL COVER

The morphological organization of the soil cover exists at different scales of observation : from the basic assemblages of the particles, that we can observe with the microscope, until the arrangement of the pedological systems at the scale of a landscape. Four types of structures, corresponding to four levels of organization and observation of the soil cover, are particularly important to be described, measured and understood :

- 1- **Elementary organizations = morphological characteristics** : these structures assemble the constituents. They are partially visible with naked eyes, partially with the help of microscopes. The main types of elementary organizations are **aggregates** (peds), **voids** (porosity), **cutans**, **nodules**, **features of biological activities** ; the observation of the **colours** help to recognize and understand the elementary organizations.
- 2- **Assemblages** : these structures are pedological volumes described and interpreted by the associate presence of some elementary organizations. Examples of assemblages : andic, calcic, ferralic, vertic, ... : each one of these assemblages is to be described in terms of specific associations of colours, peds, voids, cutans, nodules, etc....
- 3- **Horizons** : these structures are pedological volumes, more or less parallel to the ground surface. An horizon is described by the presence of one or more types of assemblages and by the

relationships between these assemblages. It is also described by its thickness, by its lateral extensions, by its vertical and lateral morphological limits. At the scale of the landscape, an horizon is never infinite : laterally, it disappears or it is transformed in another horizon.

4- Pedological systems : they are defined by the vertical and lateral distributions and relationships of horizons at the scale of the landscape. The structure of a pedological system is described by the horizons that form it : elementary organizations and assemblages of the horizons, vertical superposition and lateral successions of the horizons, kind of limits that separate the horizons.

The pedological studies have, until now, mainly considered the characterisation and the genetic significance of the elementary organizations, of the assemblages, of the horizons and, mainly, of the **vertical superpositions of horizons, named « type of soil », « pedon »**. On the other hand, relatively few detailed studies have been made with regard to the **three-dimensional spatial organization** of the soil cover and with regard to the **historical and actual dynamic** interpretations of the three-dimensional spatial organization. The objectives are to discover and to understand the real **dynamic soil entities**, soil units, at the scale of the landscapes and ecosystems, and the relationships between the pedosphere and the other components of the earth : lithosphere, hydrosphere, atmosphere, biosphere. One of the keys of these studies is the **morphological study of the pedological limits** : limits, transitions, between different types of assemblages that exist side by side in an horizon ; vertical and lateral limits, transitions, that exist between horizons. These morphological studies of the limits have to be interpreted in terms of **dynamic evolution** (history and actual) : a limit is frequently a dynamic one, a **transformation front** where a structure is being transformed in another one.

A morphogenetic soil reference system, as **WRB**, can be constructed on the base of the elementary organizations, the assemblages, the horizons, the vertical superpositions of horizons. It still cannot be constructed, with enough precision and exhaustivity, for the lateral distributions. However, knowing that these distributions exist, they have to be, as often as possible, cited in the definition of the other types of structures : this is being made in **WRB**, opening the possibility to begin a World Reference Base concerning the pedological systems.

THE PEDOLOGICAL SYSTEMS

In terms of lateral distribution of the soils characteristics, it exists **four** main types of sequences:

1- The lithosequences : the lateral variations are concerned with the variations of the rocks. In these sequences, the vertical differentiations limits are **dynamic limits**, that is they vary as a consequence of the soil evolution : for example, the limits that separate two superposed horizons are, in general, **transformation fronts** showing that one horizon is being formed by transformation of another horizon. But, in these sequences, **the lateral limits are fixed** : they correspond to the rocks limits.

2- The toposequences : the lateral variations are in relation with the topography. In general, in these types of sequences, all the limits (vertical and lateral), between assemblages and between horizons, are dynamic ones. It is very important to study how, and at what speed, the limits evolve.

3- The chronosequences : the lateral variations are determined by the age of the soil cover, that is by the age of the superficies or by the age of the parent materials on and from which the soil cover is formed. The chronosequence can be along a slope, as the example, in North Morocco, of

the development of the calcic horizon in function of the age of the soil cover ; it can be a chronosequence of soil-landscapes, as the example, in French Guyana, of the transformation, on a dune system, of ferralsols to podzols. It is important to note that human activities create, by anthropic soil evolution, new chronosequences.

4- The biosequences : the lateral variations are in relation with the life : animal, vegetal, human.

REFERENCES

- BOCQUIER G.**, 1971 - *Genèse et évolution de deux toposéquences de sols tropicaux du Tchad. Interprétation biogéographique.* 350 p., ORSTOM, Paris.
- BOULET R. et al.**, 1982 - *Analyse structurale et cartographie en pédologie.* Cah. ORSTOM, sér. Pédol., vol. XIX, n° 4, p. 309-359.
- RUELLAN A.**, 1970 - *Contribution à la connaissance des sols des régions méditerranéennes : les sols à profil calcaire différenciés des plaines de la Basse-Moulouya (Maroc Oriental).* 302 p., ORSTOM, Paris.
- RUELLAN A. et DOSSO M.**, 1993 - *Regards sur le Sol.* 192 p., Foucher-Aupelf, Paris.

ESTADO ACTUAL DE LA DOCENCIA DEL AREA DE CONOCIMIENTO DE EDAFOLOGIA Y QUIMICA AGRICOLA EN ESPAÑA.

L. CORRAL y J. GIL

Dpto. de Química Agrícola y Edafología. Facultad de Ciencias. Universidad de Córdoba.

INTRODUCCION

En el IV Congreso de la S.E.C.S. celebrado en septiembre de 1966 en Lérida se presentó el documento de trabajo «La enseñanza de la Edafología en España» (Porta y Ramos, 1996), en el que se sintetiza la labor de los primeros edafólogos españoles en la consolidación de la Edafología como una disciplina fundamental en diversas licenciaturas/ingenierías de la universidad española. Así mismo, se hace un análisis de la evolución y tendencias en la enseñanza de la Edafología que incluye diversos cuadros en los que se exponen los descriptores aparecidos en la bibliografía edafológica hasta 1995, así como las variaciones orientadas hacia un enfoque medioambiental del estudio del suelo. Recientemente, la puesta en marcha de los nuevos planes de estudios ha originado sensibles cambios tanto en el cómputo total de horas docentes en Edafología y en las diferentes disciplinas relacionadas con ella, por otro lado cada vez más numerosas, como en el carácter troncal, obligatorio u optativo de cada una de ellas.

Pues bien, con el objetivo de establecer una primera aproximación a la realidad del estado de la Edafología en las diferentes universidades españolas, se ha contactado con todos aquellos departamentos en los que se imparte dicha disciplina u otras íntimamente relacionadas con ella, mediante un impreso/encuesta propuesto por Porta y Ramos (1996).

Estado actual de la enseñanzas impartidas por el area de conocimiento «Edafología y Química Agrícola».

Con las encuestas recibidas se ha elaborado el Anexo 1 en el que se pormenoriza la universidad, licenciatura o ingeniería, departamento universitario y carácter y número de créditos de las distintas asignaturas impartidas por el área de conocimiento.

En las Tablas 1 y 2 se sintetiza la información recibida, agrupada en las 14 licenciaturas/ingenierías y por las 30 universidades implicadas. Como puede apreciarse en la actualidad se imparten 581,5 créditos troncales (32,83%) de los que más del 56 % (329,5 créditos) corresponden a las Escuelas Técnicas Agrícolas y Forestales en sus diferentes especialidades, pudiéndose destacar también el porcentaje correspondiente a Ciencias Ambientales, superior al 16 %, máxime si se tiene en cuenta que es la de más reciente implantación.

El número de créditos obligatorios impartidos es de 209 (11,80 %) y como ocurre con los troncales el mayor porcentaje corresponde a los estudios de Ingenierías Técnicas.

Por último, la oferta de optatividad suma 980,5 créditos, de los que casi el 50 % corresponden a las licenciaturas de Biología (25,85 %) e Ingeniero Agrónomo (23,51 %).

El análisis por universidades señala la de Santiago como la que mayor número de créditos imparte (314,5), distribuidos en troncales (64,23 %) y optativos (35,77 %) y con una carga docente muy importante en las Escuelas de Ingeniería Técnicas Agrícolas, seguida de la de Lérida (213 créditos) en su mayoría también relacionados con los estudios de Ingeniería Técnica. Le sigue Córdoba con 132 créditos impartidos, de los que casi el 40 % se relacionan con la licenciatura de Ciencias Ambientales.

Una visión global y sencilla de los créditos impartidos tanto por universidades como por especialidades puede verse en los gráficos 1 a 6.

Finalmente, y con el objeto de hacer una abstracción según el carácter científico o técnico de los estudios en los que se imparte edafología o asignaturas relacionadas o ligadas a departamentos que incluyen profesores del área de conocimiento de Edafología y Química Agrícola, se han elaborado los gráficos 7, 8 y 9 en los que se puede observar que al conjunto de licenciaturas de carácter científico (Biología, Ciencias Ambientales, Química, Farmacia, Bioquímica, Geología, Geografía, Veterinaria y Ciencia y Tecnología de Alimentos) le corresponden 786 créditos troncales (44,38 % del total), 92,5 créditos obligatorios (11,76 %) y 557 optativos (70,88 %), destacando la troncalidad de Ciencias Ambientales y la optatividad en Farmacia, Química y especialmente Biología (253,5 créditos).

Las ingenierías superiores (Agrónomos, Montes y Química) imparten 67,5 créditos troncales, 8,5 obligatorios y 292,5 optativos, lo que hace un total de 368,5 créditos (20,80 %) y finalmente a las ingenierías técnicas corresponden 377,5 créditos troncales, 108 obligatorios y 131 optativos, lo que supone el 34,81 % del total de 1771 impartidos.

Un análisis más profundo y detallado de estos datos se realizará en breve, para lo que los autores esperan, agradeciendo muy sinceramente de antemano la colaboración, que los errores que puedan detectarse de cualquier naturaleza les sean comunicados. De este modo se dispondrá de información real sobre la labor docente universitaria de los que integran el Área de Conocimiento de Edafología y Química Agrícola a la que pertenecemos.

TABLA 1. Distribución por licenciaturas/ingenierías de los créditos impartidos.

LICENCIATURA/ INGENIERIA	TRONCA- LES	OBLIGA- TORIOS	OPTATI- VOS	TOTAL
BIOLOGIA	18.0	4.5	253.5	276.0
C.AMBIENTALES	96.5	30.0	37.5	164.0
FARMACIA	0.0	16.0	88.5	104.5
VETERINARIA	9.0	0.0	0.0	9.0
QUIMICA	0.0	37.5	102.0	139.5
GEOLOGIA	0.0	0.0	6.0	6.0
GEOGRAFIA	0.0	4.5	14.0	18.5
I.AGRONOMO	48.0	4.5	230.5	283.0
I. MONTES	19.5	4.0	45.0	68.5
I.T.AGRICOLA	329.5	90.0	112.0	531.5
I.T.FORESTALES	48.0	18.0	19.0	85.0
C.Y.T.A.	13.0	0.0	51.0	64.0
I.QUIMICA	0.0	0.0	17.0	17.0
BIOQUIMICA	0.0	0.0	4.5	4.5
TOTAL (14)	581.5	209.0	980.5	1771.0

TABLA 2. Distribución por universidades de los créditos impartidos.

UNIVERSIDAD	TRONCA- LES	OBLIGA- TORIOS	OPTATI- VOS	TOTAL
ALCALA HENARES	0.0	6.0	7.0	13.0
ALICANTE	4.5	4.5	41.0	50.0
ALMERIA	27.0	37.5	48.0	112.5
BARCELONA	0.0	0.0	47.0	47.0
B. AUTONOMA	9.0	0.0	8.0	17.0
B. POLITECNICA	6.0	0.0	18.0	24.0
CAST.-LA MANCHA	0.0	18.0	0.0	18.0
CORDOBA	51.5	25.0	55.5	132.0
EXTREMADURA	6.0	0.0	0.0	6.0
GERONA	9.0	0.0	0.0	9.0
GRANADA	32.5	3.0	42.0	77.5
HUELVA	0.0	18.0	0.0	18.0
LA LAGUNA	13.5	0.0	59.5	73.0
LEON	13.5	6.0	11.0	30.5
LERIDA	81.0	0.0	132.0	213.0
MADRID AUTONOMA	10.0	0.0	24.0	34.0
MADRID COMPLUT.	0.0	17.5	24.5	42.0
MADRID POLITEC.	22.0	4.5	70.5	97.0
MALAGA	0.0	0.0	6.0	6.0
MURCIA	15.0	4.5	28.5	48.0
NAVARRA	0.0	0.0	20.5	20.5
NAVARRA PUBLICA	24.0	0.0	22.5	46.5
OVIEDO	0.0	4.5	0.0	4.5
PAIS VASCO	0.0	0.0	6.0	6.0
SALAMANCA	6.0	12.0	39.5	57.5

TABLA 2. (Continuación).

UNIVERSIDAD	TRONCA- LES	OBLIGA- TORIOS	OPTATI- VOS	TOTAL
SANTIAGO	202.0	0.0	112.5	314.5
SEVILLA	9.0	42.0	39.0	90.0
VALENCIA	5.5	0.0	118.0	123.5
VALLADOLID	15.0	6.0	0.0	21.0
ZARAGOZA	19.5	0.0	0.0	19.5
TOTAL (30)	581.5	209.0	980.5	1771.0

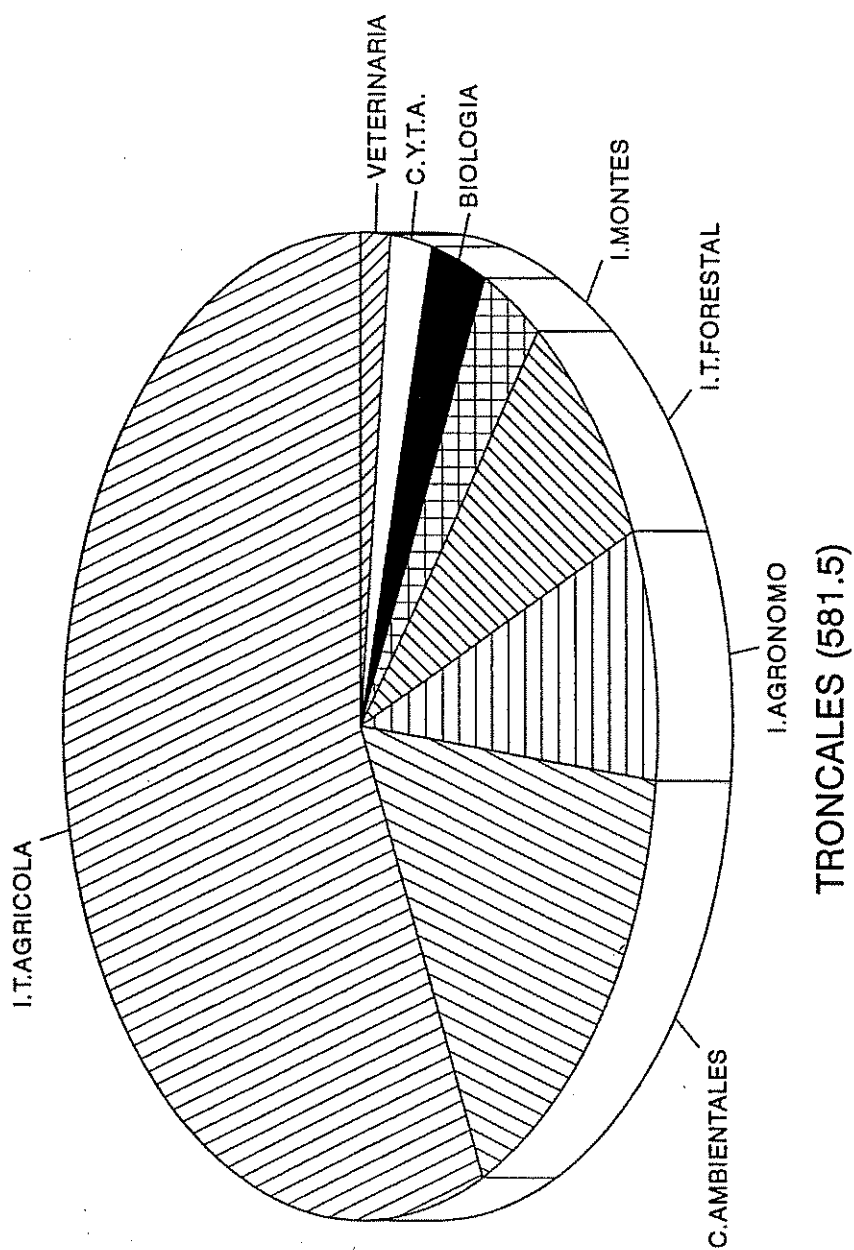


GRAFICO 2.- Representación gráfica por licenciaturas/ingenierías de los créditos obligatorios

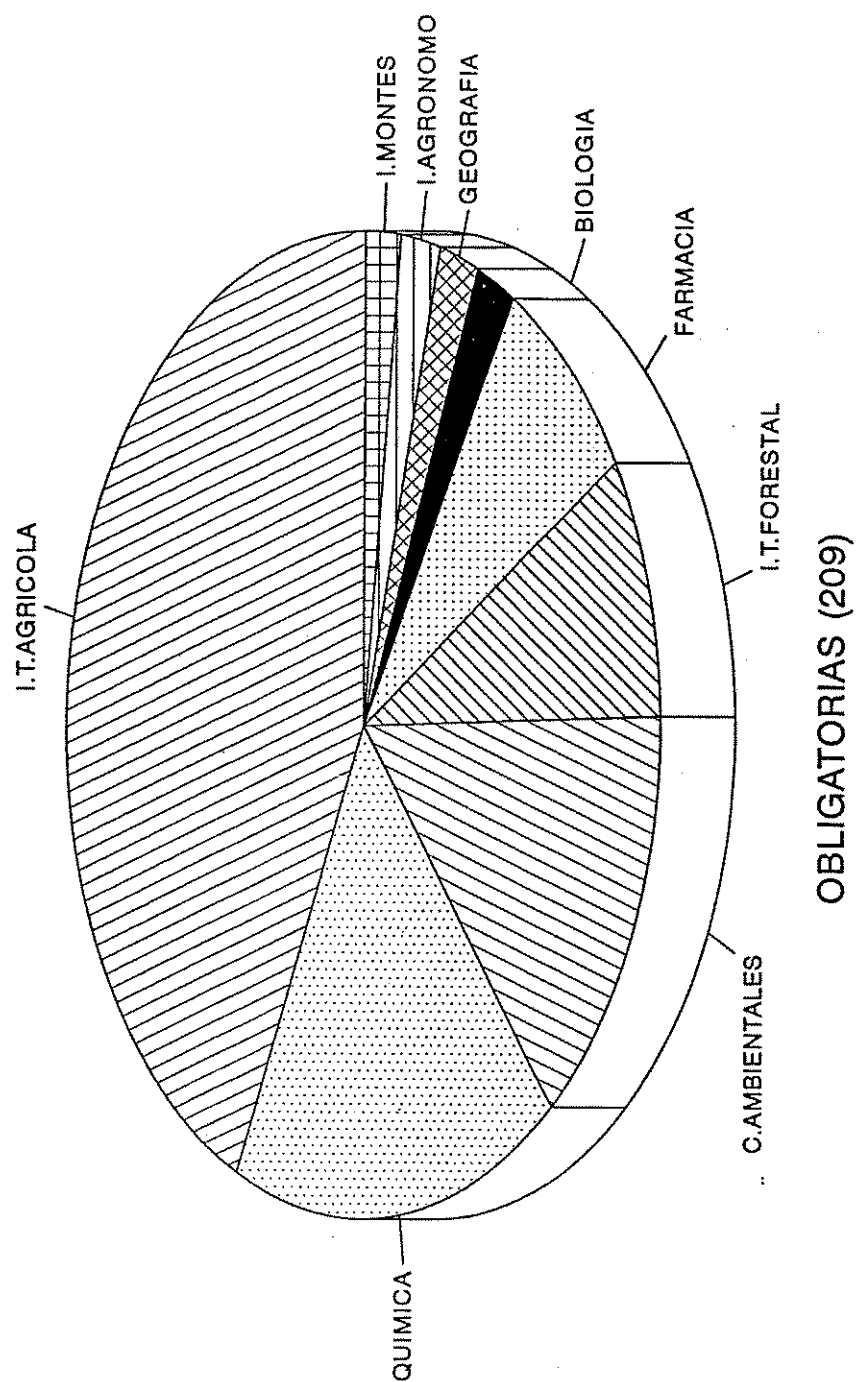


GRAFICO 3.- Representación gráfica por licenciaturas/ingenierías de los créditos optativos.

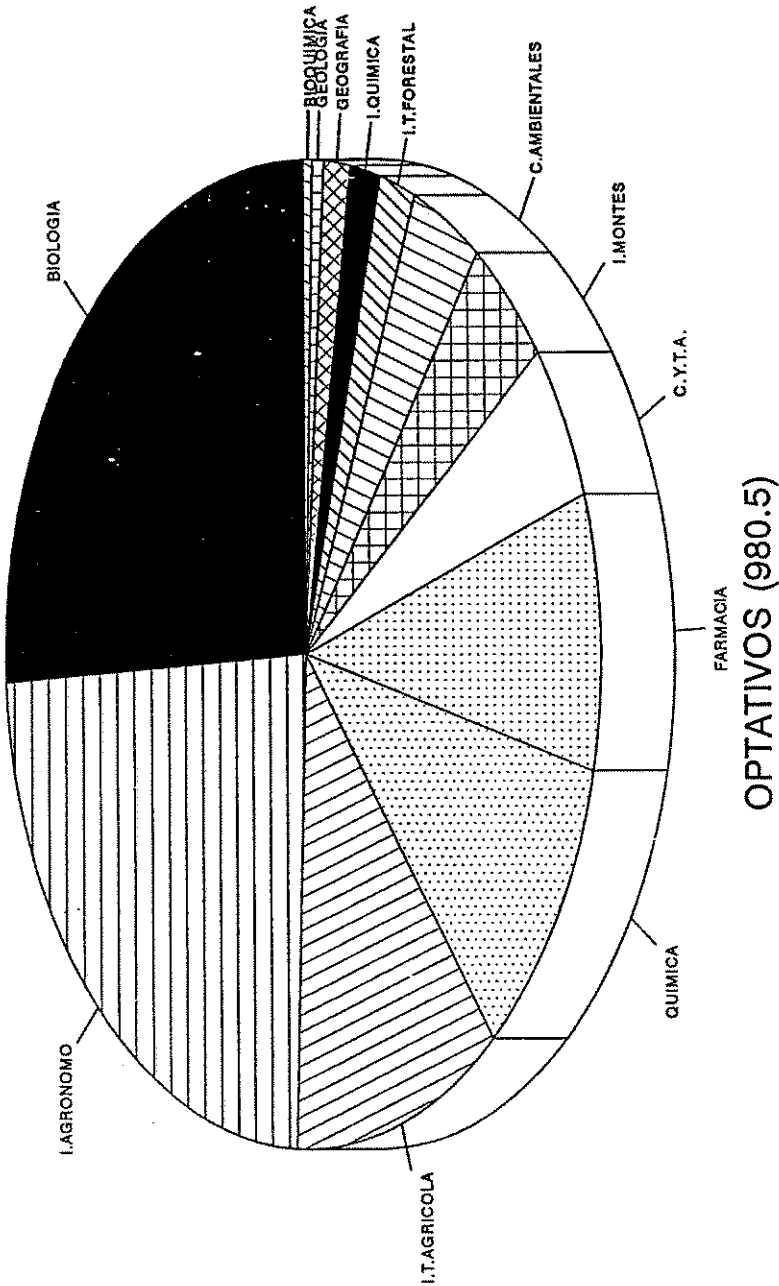


GRAFICO 4.- Representación gráfica por universidades de los créditos troncales.

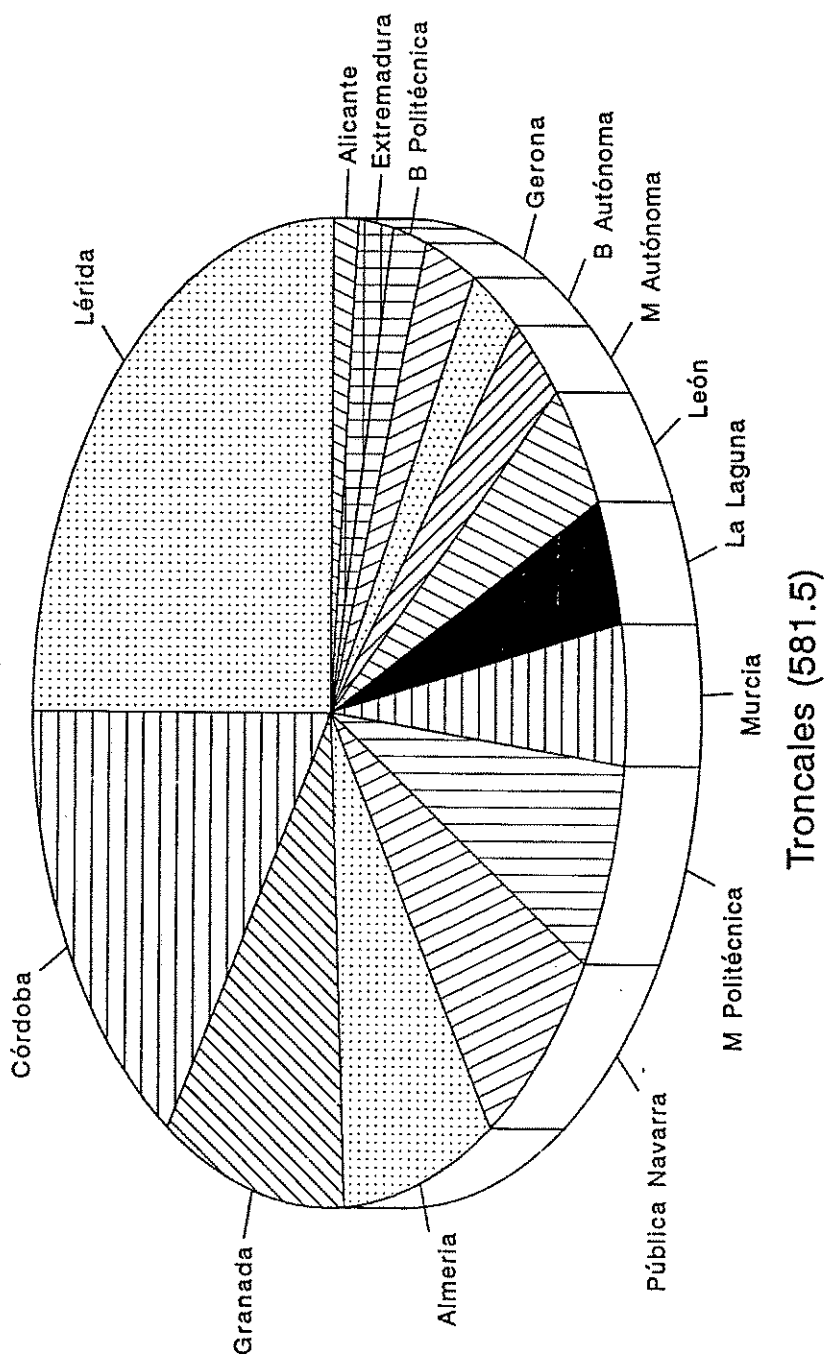


GRAFICO 5.- Representación gráfica por universidades de los créditos obligatorios.

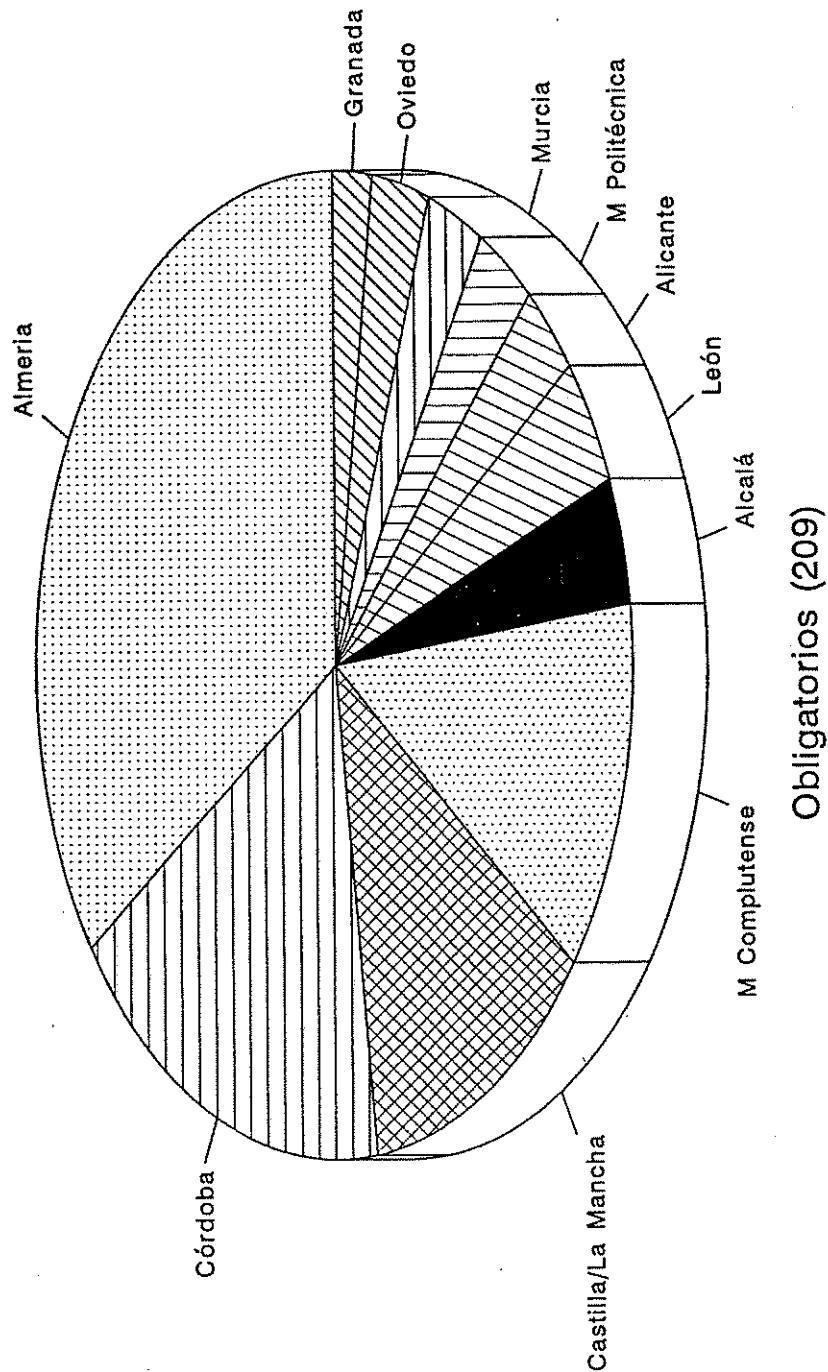


GRAFICO 6.- Representación gráfica por universidades de los créditos optativos.

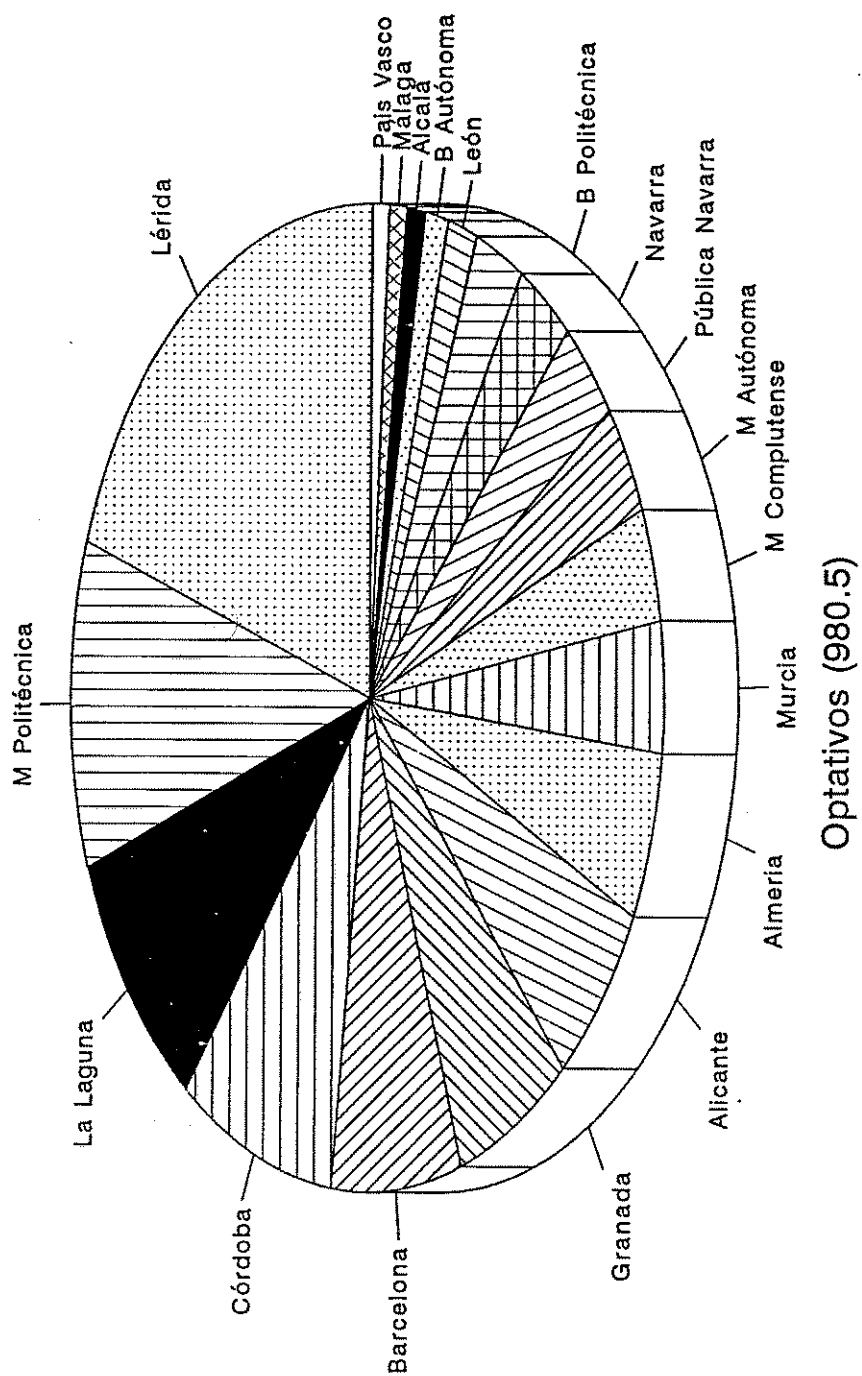


GRAFICO 7.- Representación gráfica por el carácter científico/técnico de los créditos troncales.

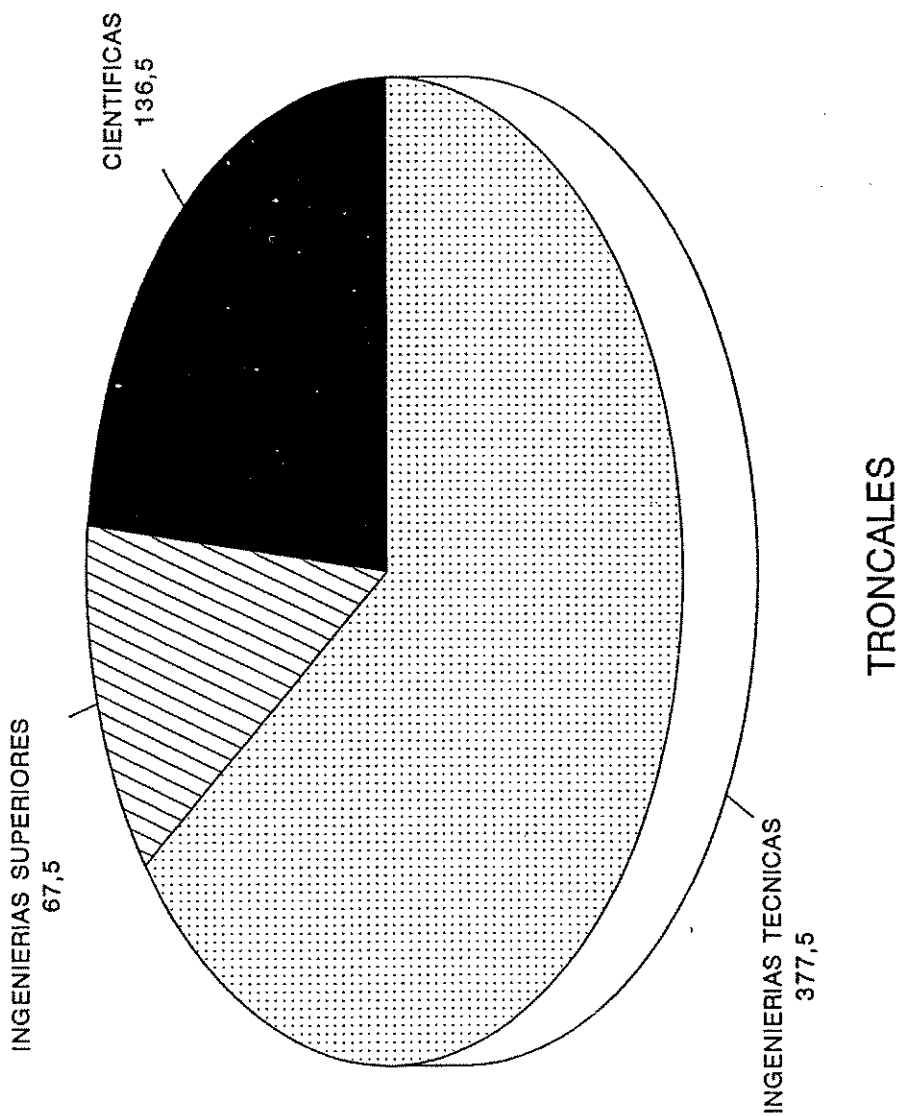


GRAFICO 8.- Representación gráfica por el carácter científico/técnico de los créditos obligatorios.

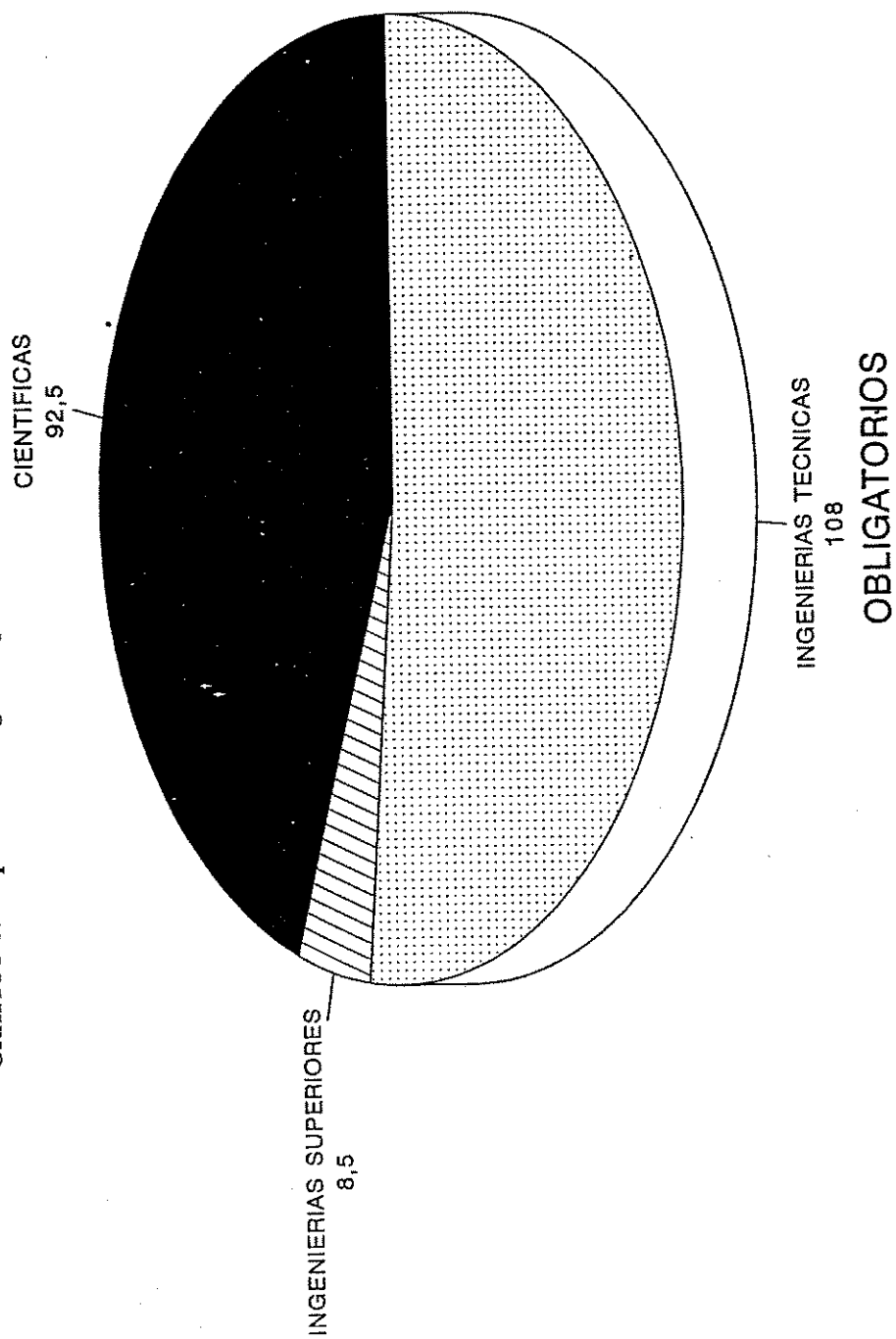
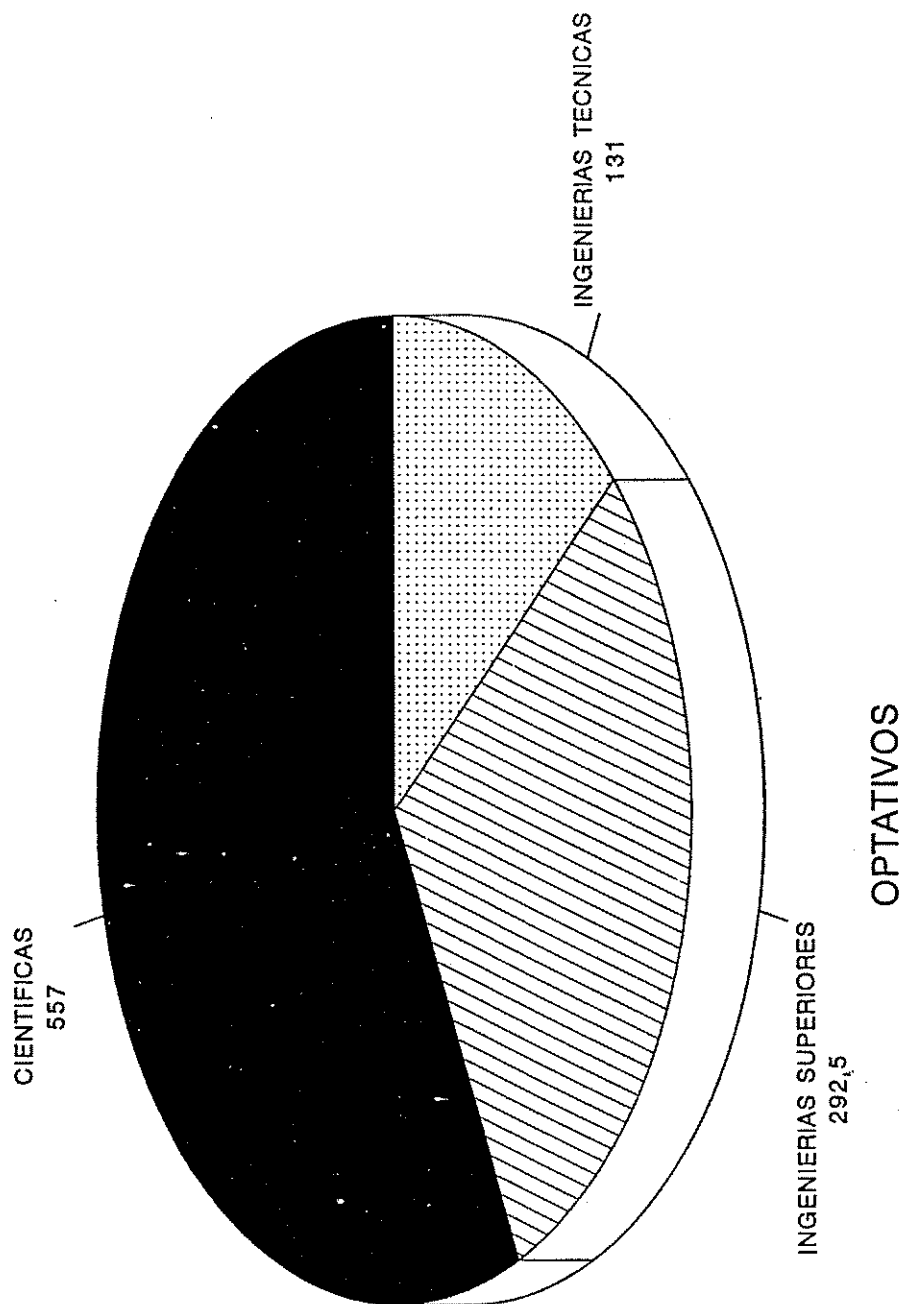


GRAFICO 9.- Representación gráfica por el carácter científico/técnico de los créditos optativos.



ANEXO 1

Universidad	Titulación	Departamento	Denominación	Créditos	Tipo	Ciclo
Alcalá de Henares	Farmacia	Geología (Geodinámica)	Edafología y formaciones superficiales	3 (1.5+1.5)	Op	1º
	Biología		Edafología	4(3+1)	Op	2º
	C.Ambiental.		Edafología	6(3+3)	Ob	1º
Alicante	Biología	Agroquímica y Bioquímica	Edafología	4.5((3+1.5)	T	1º
			Contaminación Aire-Agua-Suelo	9(4.5+4.5)	Op	1º
			Cultivos vegetales bajo control	6(3+3)	Op	2º
			Clasificación y Evaluación de Suelos	6(3+3)	Op	2º
	Química		Fundamentos de Química Agrícola	4.5(3+1.5)	O	1º
			Contaminación Aire-Agua-Suelo	8(6+2)	Op	2º
			Química de Suelo	6(4+2)	Op	2º
			Química de Sistema Suelo-Planta	6((4+2)	Op	2º

Universidad	Titulación	Departamento	Denominación	Créditos	Tipo	Ciclo
Almería	Química (Esp. Agríc) (BOE 21/2/90)	Edafología y Q. Agrícola	Edafología	12(6+6)	Ob	2º
			Química Agrícola	12(6+6)	Ob	2º
			Evaluación de Suelos	12(6+6)	Op	2º
	Ciencias Ambientales (BOE 11/10/96)		Cartografía, Teledetección y Fotointerpretación	6(3+3)	T	1º
			Edafología	6(3+3)	Ob	1º
			Meteorología y Climatología	6(3+3)	T	1º
			Erosión, desertificación y contaminación de Suelos	6(3+3)	T	1º
	Ingeniería Técnica Agrícola (BOE 29/2/96)		Sistemas de Información Geografía	6(3+3)	Op	1º
			Evaluación de Suelos	4.5(1.5+3)	Op	2º
			Diagnóstico y Manejo de Suelos	3(1.5+1.5)	Op	2º
			Fundamentos de Edafología	3(1.5+1.5)	T	U 1º
			Ampliación de Edafología	4.5(3+1.5)	Ob	U1º
			Química Agrícola	3(1.5+1.5)	Ob	U2º
			Fitotecnia	6(3+3)	T	U2º

Universidad	Titulación	Departamento	Denominación	Créditos	Tipo	Ciclo
Almería			Erosión y Desertización	6(3+3)	Op	U 3º
			Evaluación de Suelos	4.5(1.5+1.5)	Op	U 3º
			Diagnóstico y manejo de Suelos Salinos	3(1.5+1.5)	Op	U 3º
			Calidad del agua y necesidades hídricas de los cultivos	3(1.5+1.5)	Op	U 3º
Barcelona	Farmacia		Manejo de Agroquímicos	3(1.5+1.5)	Op	U 3º
			Agricultura Biológica	6(3+3)	Op	U 3º
			Edafología	7	Op	2º
			Hidrología	7	Op	2º
			Trabajos Prácticos de Edafología I y II	14	Op	2º
			Edafología	7	Op	2º
Barcelona Autónoma	Ciencias y Tecnología de los Alimentos		Trabajo práctico tutorado de Edafología	12	Op	2º
			Edafología	8	Op	2º
	Biología		Edafología	3	Op	1º
	Ciencias Ambientales		Edafología	6	T	2º
			Sistemática y Conservación de Suelos		T	

Universidad	Titulación	Departamento	Denominación	Créditos	Tipo	Ciclo
Barcelona Politécnica	Ingeniero Técnico Agrícola (Esp. Apropiación (BOE 2/6/94)	Agronomía	Edafología	3 (2+1)	T	U
			Diagnóstico de Suelos	4.5(3+1.5)	Op	U
			Evaluación de Suelos	4.5(3+1.5)	Op	U
	Ingeniero Técnico Agrícola (Hortifruticultur a) (BOE 7/6/94)		Edafología	3(2+1)	T	U
			Diagnóstico de Suelos	4.5(3+1.5)	Op	U
			Evaluación de Suelos	4.5(3+1.5)	Op	U
Castilla-La Mancha (Ciudad Real)	Ingeniero Técnico Agrícola (BOE 4/11/94)	Producción Vegetal y Tecnología Agraria	Edafología y Climatología	3(1+2)	Ob	U
			Edafología y Climatología	7.5(4.5+3)	Ob	U
			Edafología y Climatología	7.5(4.5+3)	Ob	U

Universidad	Titulación	Departamento	Denominación	Créditos	Tipo	Ciclo
Córdoba	Ing. Agrónomos	Producción Vegetal	Geología, Climatología y Edafología aplicadas a la Agricultura	7.5	T	1º
			Suelos agrícolas	4	Op	1º
			Evaluación de Suelos	5	Op	2º
	Ing. S. Montes		Geología, Climatología y Edafología aplicadas a la Agricultura	7.5	T	1º
			Suelos forestales	4	Ob	1º
	Biología	Química Agrícola y Edafología	Fundamentos de Edafología Aplicada	5	T	2º
			Edafología	5(4+1)	Op	2º
			Cartografía y Evaluación de Suelos	5(3+2)	Op	2º
	Química	Q. Agrícola y Edafología	Fund. Q. Agrícola y Alimentaria	9(6+3)	Ob	1º
			Tecnología de Bebidas	3(2+1)	Op	2º
			Aprovechamiento	5(4+1)	Op	2º
			Alteraciones y Aditivos Alimentarios	6(4+2)	Op	2º

Universidad	Titulación	Departamento	Denominación	Créditos	Tipo	Ciclo
Córdoba	Bioquímica	Q. Agrícola y Edatología	Química de los Alimentos	4.5(3+1.3)	Op	2º
			Química de los Alimentos	3.5(2.5+1)	T	2º
			Tecnología de Bebidas	3(2+1)	Op	2º
	CYTA		Origen y utilización de Subproductos	3(2+1)	Op	2º
			El Medio Físico I	6(4+2)	T	1º
			El Medio Físico II	6(4+2)	T	1º
	Ciencias Ambientales		Tratamientos Agroquímicos y Medioambientales	6(4+2)	Ob	1º
			Suelos de clima mediterráneo	6(4+2)	Ob	2º
			Meteorología y Climatología	6(4+2)	T	2º
			Ordenación del Territorio y Medio Ambiente	11	T	2º
			Evaluación del Impacto Ambiental	11	T	2º
			Gestión y Conservación de Recursos naturales. El medio Físico.	6(4+2)	T	2º
			Aprovechamiento de subproductos	5(3+2)	Op	2º
			Ordenación Medioambiental del Medio Agrícola	5(3+2)	Op	2º

Universidad	Titulación	Departamento	Denominación	Créditos	Tipo	Ciclo
GIRONA	Ingeniero Técnico Agrícola (Explotac. Agropecuarias) (BOE 1/12/94)	Biología y producción de los Vegetales	Edafología	3(1.5+1.5)	T	U
	I.T.A. (Hortofruticultura y Jardinería)		Edafología	3(1.5+1.5)	T	U
	I.T.A. (Exp. Agropecuarias)	Ingeniería Química, Agraria y Tecnología Agroalimentaria		6(3+3)	T	U
	Ciencias del Medioambiente	Autónoma de Barcelona		3	T	1º

Universidad	Titulación	Departamento	Denominación	Créditos	Tipo	Ciclo
Granada	Farmacia	Edafología y Q.Agrícola	Geología Aplicada a la Farmacia	3	Ob	1º
			Edafología	6	Op	2º
			Geofarmacia Ambiental	3	Op	5º
			Hidrología Farmacéutica	6	Op	2º
	Ciencias Ambientales		Edafología	7.5	T+O	1º
			Gestión y Conservación de Recursos Naturales	12	T	2º
			Ordenación del Territorio y Medio Ambiente	9	T	2º
	Biología		Edafología	9	Op	1º
			Técnicas y Métodos de Edafología Aplicada	4	T	2º
			Génesis y Cartografía de Suelos	9	Op	2º
Tecnología de Suelos			9	LE	2º	
Ingeniero Técnico Forestal		Hidrología de superficie y Conservación de S.	18	Ob	U	

Universidad	Titulación	Departamento	Denominación	Créditos	Tipo	Ciclo
La Laguna	Farmacia (BOE 31/10/95)	Edafología y Geología	Contaminación y Saneamiento de Suelos	14.5(3+1.5)	Op	2º
	Química (BOE 18/6/77)		Edafología	21(12+9)	Op	2º
	Ing. Química (BOE 21/10/95)		Introducción al Estudio de los Suelos	6(4.5+1.5)	Op	1º
	Ing. Agrónomo (BOE 14/10/94)		Edafología	6(4+2)	T	1º
			Suelos Tropicales	5.4(2.5+2)	Op	2º
	Ingeniero Téc. Agrícola (BOE 1/4/97)		Edafología	6(4+2)	T	U

Universidad	Titulación	Departamento	Denominación	Créditos	Tipo	Ciclo
La Laguna	Biología (BOE 21/10/95)		Técnicas de Muestreo y Caracterización de Suelos	1.5(0.5+1)	T	2º
			Edafología	6(4.5+1.5)	Op	2º
			Contaminación Ambiental	6(4.5+1.5)	Op	2º
			Evaluación y Gestión de Suelos	5.5(3+2.5)	Op	2º
			Degradación y Conservación de Suelos	6(4.5+1.5)	Op	2º
León	Biología Ing. Agrónomo Medio Amb, I.T. Agrícola	Ingeniería Agraria	Edafología	5(3+2)	Op	1º
			Clasificación Cartográfica	6	Op	2º
			Edafología	6(4.5+1.5)	Ob	1º
			Edafología y Climatología	4.5(3+1.5)	T	U
			Edafología y Climatología	4.5(3+1.5)	T	U
			Edafología y Climatología	4.5(3+1.5)	T	U

Universidad	Titulación	Departamento	Denominación	Créditos	Tipo	Ciclo
Lleida	Ing. Téc. Agrícola Expl. Agropecuar		Edafología y Climatología	6(3.6+2.4)	T	U
			Fitotecnia	6(3.6+2.4)	T	U
			Agrometereología	6(4+2)	Op	U
			Diagnostico y manejo de fertilidad de Suelos	6(4+2)	Op	U
	Hortofruticultura y Jardinería		Suelos de regadío	6(4+2)	Op	U
			Edafología y Climatología	6(3.6+2.4)	T	U
			Fitotecnia	6(3.6+2.4)	T	U
			Agrometereología	6(4+2)	Op	U
	Mecanizaciones Construcciones Rurales		Diagnóstico y manejo de fertilidad de suelos	6(4+2)	Op	U
			Suelos de regadío	6(4+2)	Op	U
			Edafología y Climatología	6(3.6+2.4)	T	U
			Fitotecnia	6(3.6+2.4)	T	U
			Geología Mecánica de Suelos	4.5(2.7+1.8) 4.5(3+1.5)	T T	U U

Universidad	Titulación	Departamento	Denominación	Créditos	Tipo	Ciclo
Lleida	Industrias Agrarias y Alimentarias		Edafología y Climatología	3(1.8+1.2)	T	U
			Fitotecnia	6(3.6+2.4)	T	U
	Explotaciones Forestales		Edafología y Climatología	6(3.6+2.4)	T	U
			Hidrología de Superficie y conserv. de suelos	6(3.6+2.4)	T	U
			Métodos de Campo en el Estudio del Territorio	6(2+4)	Op	U
	Ing. Técnico Industrias Forestales		Edafología y Climatología	3(1.8+1.2)	T	U
	Ingeniero Agrónomo		Biofísica Ambiental	6(4+2)	Op	2º
			Clasificación y Cartografía de Suelos	6(3+3)	Op	2º
			Contaminación Ambiental	6(2+4)	Op	2º
			Estudio de Suelos en el campo	4.5(3+1.5)	Op	2º
			Evaluación de impacto ambiental: estudio de casos	4.5(3+1.5)	Op	2º

Universidad	Titulación	Departamento	Denominación	Créditos	Tipo	Ciclo
Lleida	Ing. Agrónomo		Evaluación del Territorio y catastro	6(4+2)	Op	2º
			Fertilidad de Suelos u nutrición mineral	6(4+2)	Op	2º
			Geomorfología y riesgos geológicos	6(4+2)	Op	2º
			Ordenación del Territorio y de los sistemas naturales	6(3+3)	Op	2º
			Sistemas de Inf. Geográfica y Teledetección	6(4+2)	Op	2º
			Tecnología de Suelos	6(4+2)	Op	2º
	Ing. de Montes		Hidrología de Superficie y Conservación de Suelos	6(3.6+2.4)	T	2º
			Ordenación del Territorio y de los sistemas naturales	6(4+2)	T	2º
			Biofísica ambiental	6(4+2)	Op	2º
			Contaminación ambiental	6(4+2)	Op	2º
			Evaluación de Impacto ambiental: estudio de los casos	4.5(3+1.5)	Op	2º

Universidad	Titulación	Departamento	Denominación	Créditos	Tipo	Ciclo
Lleida	Ing. Montes		Evaluación del Territorio y catastro	4.5(3+1.5)	Op	2º
			Geomorfología y riesgos geológicos	6(4+2)	Op	2º
			Sistemas de Información Geográfica y Teledetección	6(4+2)	Op	2º
Madrid Autónoma	Química Biología C. Ambiental		Edafología	6	Op	2º
			Edafología	6	T	2º
			Edafología	4	T	1º
			Gestión y Conservación de Recursos Naturales	6	T	2º
Madrid Complutense	Geografía		Contaminación de Sistemas Ambientales	6	Op	2º
			Cartografía de Suelos	6	Op	2º
			Edafogeografía general	4	Op	1º
			Procesos edafogenéticos	4	Op	2º
			Clasificación y Cartografía de suelos	4	Op	2º

Universidad	Titulación	Departamento	Denominación	Créditos	Tipo	Ciclo
Madrid Complutense	Farmacia		Edafología (Sanidad Ambiental)	4.5(3+1.5)	Ob	1º
			Edafología (Producción natural)	4.5(3+1.5)	Ob	1º
			Edafología	4.5(3+1.5)	Op	1º
			Contaminación abiótica de agua,aire y suelo	7(5+2)	Op	1º
			Hidrología	4(3+1)	Ob	1º
			Edafología aplicada	3(1.5+1.5)	Op	1º
Politécnica Madrid	Ciencias y Tec. de los Alimentos		Producción de Materias de origen vegetal	2		U
Politécnica Madrid	Ing. Téc.Agrícola (BOE 1974)	Química y Análisis Agrícola	Análisis agrícola, Agrología y Climatología	15(9+6)		U
Politécnica Madrid	Ing.Agrónomo (BOE 18/10/96)	Edafología	Edafología y Climatología	7(4.2+2.8)	T	1º
			Geología	4.5(2.7+1.8)	Ob	1º
			Historia de la Agricultura	6(2.4+3.6)	Op	1º
			Ampliación de Edafología	6(2.4+3.6)	Op	1º

Universidad	Titulación	Departamento	Denominación	Créditos	Tipo	Ciclo
Politécnica Madrid	Ordenación del Territorio y Tecnología de Suelos	Edafología	Climatología y Meteorología	4.5(2.7+1.8)	Op	2º
			Componentes del Suelo	3(1.8+1.2)	Op	2º
			Física y Tecnología de Suelos	6(3.6+2.4)	Op	2º
			Química y fertilidad de Suelos	6(3.6+2.4)	Op	2º
			Procesos Geomorfológicos lógicos y erosivos	4.5(2.7+1.8)	Op	2º
			Evaluación de Tierras	3(1.8+1.2)	Op	2º
			Génesis y clasificación de Suelos	4.5(2.7+1.8)	Op	2º
			Reconocimiento y Cartografía de Suelos	6(3.6+2.4)	Op	2º
			Conservación de Suelos y aguas	6(3.6+2.4)	Op	2º
			Climatología Y meteorología	4.5(2.7+1.8)	Op	2º
	Ing. Agrónomo	Edafología	Evaluación de Tierras	3(1.8+1.2)	Op	2º
			Génesis y Clasificación de Suelos	4.5(2.7+1.8)	Op	2º
			Geología Ambiental	3(1.8+1.2)	Op	2º

Universidad	Titulación	Departamento	Denominación	Créditos	Tipo	Ciclo
Málaga	Biología		Edafología	6(4.5+1.5)	Op	2º
Murcia	Biología	Química Agrícola y Edafología	Métodos y Técnicas en Edafología	3(1.5+1.5)	T	2º
			Edafología	9(6+3)	Op	2º
	Química		Edafología	7(4+3)		
			Química de la Edafogénesis	4(2+2)		
	Ing. Química		Contaminación de Suelos	4(2+2)	Op	
	Ing. T. Agríc.		Edafología y Climatología	3(1.5+1.5)	T	U
			Evaluación Agrícola del Suelo	4.5(3+1.5)	Ob	U
	Esp. Industrias Agrarias y Alimentarias		Edafología y Climatología	3(1.5+1.5)	Op	U
	Ing. Agrónomo					

Universidad	Titulación	Departamento	Denominación	Créditos	Tipo	Ciclo
Navarra	C. Biológicas	Química y Edafología	Edafología	10.5(6+9.5)	Ob+Op	2º
			Génesis y Tipología de Suelos	5(2+3)	Op	2º
			Química de Suelos	5(2+3)	Op	2º
	Ing. Agrónomo (BOE 14/2/95)	Ciencias del Medio Natural	Edafología y Climatología	6(3+3)	T	1º
			Clasificación y Evaluación de Suelos	6(3+3)	Op	2º
			Conservación de Suelos	4.5(3+1.5)	L.E	2º
	Ing. Téc. Agrícola BOE 17/8/90 Hortofruticultura y Jardinería		Edafología y Climatología	9(6+3)	T	U
			Clasificación y Evaluación de Suelos	6(3+3)	L.E	U
	Explotaciones Agropecuarias		Edafología y Climatología	9(6+3)	T	U
			Clasificación y Evaluación de Suelos	6(3+3)	L.E	U

Universidad	Titulación	Departamento	Denominación	Créditos	Tipo	Ciclo
Oviedo	Biología BOE 94	Geología	Geomorfología y Suelos	4,5(1.5+3)	Ob	2º
País Vasco	Biología	Biología Vegetal y Ecología	Edafología	6(4.5+1.5)	Op	1º ó 2º
Salamanca	Geografía (BOE 17/12/92)		Edafogeografía	6(3+3)	Op	1º
	Geología (BOE 27/12/96)		Edafología	6(4+2)	Op	1º
	Farmacia (BOE 19/1/96)		Hidrología y Edafología	5(3+2)	Op	2º
	Biología BOE 20/3/97)		Edafología	4.5(3+1.5)	Op	2º
			Biología del Suelo	4.5(3+1.5)	Op	2º
			Conservación de Suelos	4.5(3+1.5)	Op	2º

Universidad	Titulación	Departamento	Denominación	Créditos	Tipo	Ciclo
Salamanca	Ing. Téc. Agrario Expl. Agropecuari as BOE 15/5/96	Edafología	Edafología y Climatología	6(3+3)	T	U
			Geología aplicada al medio agrícola	6(4.5+1.5)	Ob	U
			Química Agrícola	6(3+3)	Ob	U
			Degradación y cOnservación de Suelos	4.5(1+1.5)	Op	U
			Agricultura de Montaña	4.5(3+1.5)	Op	U
Santiago	Ciencia y Tec. de los Alimentos		Producción de materias primas	5(4+1)	T	U
			Medio hídrico	4.5(3+1.5)	Op	U
	Componentes geológicos del medio		4.5(3+1.5)	Op	U	
	Medio edafico		4.5(3+1.5)	Op	U	
	Geología		10(7+3)	Op	U	
	Biogeoquímica		6(4+2)	Op	U	
	Edafología		4	Op	U	

Universidad	Titulación	Departamento	Denominación	Créditos	Tipo	Ciclo
Santiago	Biología		Génesis y Clasificación de Suelos	4	Op	2º
			Recursos edáficos	4	Op	2º
			Química Agrícola	6(4+2)	Op	2º
			Degradación y recuperación de suelos	4(2+2)	Op	2º
			Geología ambiental	4(2+2)	Op	2º
	Química		Gestión y tratamiento de residuos	4(2+2)	Op	2º
			Contaminación de suelos	2(2+2)	Op	2º
			Contaminación de suelos	2(2+2)	Op	2º
			Edafología aplicada	4(2+2)	Op	2º
			Clasificación cartográfica y evaluación	4(2+2)	Op	2º
	Ing.Agrónomo		Contaminación ambiental	4(2+2)	Op	2º
			Geotécnica y cimentaciones	4(2+2)	Op	2º
			Climatología agrícola	4(2+2)	Op	2º
			Manejo de Suelos y aguas	4(2+2)	Op	2º

Universidad	Titulación	Departamento	Denominación	Créditos	Tipo	Ciclo
Santiago	Ing. Agrónomo		Fitotecnia General	4 (2+2)	T	2º
	Ing. Montes		Medidas correctoras del impacto ambiental	6(3+3)	Op	1º
			Contaminación en montes y aguas continentales	6(3+3)	Op	2º
	Ing. Téc. Ind. Químicas		Análisis químico de Alimentos	7(4+3)		U
			Química Agrícola	7(4+3)		U
	Ing. Téc. Agropecuarias		Edafología y Climatología	6(3+3)	T	U
			Agricultura ecológica	9(6+3)	T	U
			Fitotecnia	9(6+3)	T	U
			Ciencia y Tecnología del medio ambiente	9(6+3)	T	U
			Fundamentos químicos de la Ingeniería	12(6+6)	T	U

Universidad	Titulación	Departamento	Denominación	Créditos	Tipo	Ciclo
Santiago	Ing. Téc. Industrias Agrarias y Alimentarias		Edafología y Climatología	3(2+1)	T	U
			Ciencia y Tecnología del Medio Ambiente	9(3+6)	T	U
			Análisis Instrumental	11(6+5)	T	U
			Tecnología de la Producción Vegetal	9(6+3)	T	U
	Ing. Téc. en Mecanización y Construcciones rurales		Edafología y Climatología	6(3+3)	T	U
			Geología y mecánica de suelos	9(6+3)	T	U
			Ciencia y Tecnología del medio ambiente	9(3+6)	T	U
			Fundamentos químicos de la Ingeniería	12(6+6)	T	U
			Tecnología de la Producción Vegetal	6(3+3)	T	U
	Ing. Téc. Explotaciones forestales		Edafología y Climatología	8(6+2)	T	U
			Hidrología	7(3+4)	T	U
			Gestión del Medio Natural	8(6+2)	T	U
			Técnicas de Conservación del Suelo	6(3+3)	T	U
			Fundamentos químicos de la ingeniería	12(6+6)	T	U

Universidad	Titulación	Departamento	Denominación	Créditos	Tipo	Ciclo
Sevilla (Privada Cortijo de Cuarto)	Ing. Téc. Agraria Explot. Agropec.		Fundamentos químicos de la ingeniería	9(6+3)	T	U
			Análisis Químicos agrícola	6(3+3)	Ob	U
			Edafología y Climatología	9(6+3)	Ob	U
Sevilla Pública	Ing. Técnico Agrario Explot. Agropec.	Cristalografía, Mineralogía y Q. Agrícola	Edafología Agrícola	6(4+2)	Ob	U
			Fundamentos Químicos de la Ingeniería	9(6+3)	T	U
			Análisis Instrumental Agrícola	9(6+3)	Ob	U
			Agroquímica	8(6+2)	Op	U
	I.T.A. Hortofruticultura y Jardinería	I	Edafología Agrícola	6(4+2)	Ob	U
			Análisis Instrumental Agrícola	6(3+3)	Ob	U
			Fundamentos Químicos de la Ingeniería	9(6+3)	T	U
			Agroquímica	8(6+2)	Op	U

Universidad	Titulación	Departamento	Denominación	Créditos	Tipo	Ciclo
Sevilla	Biología	Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola	Edafología	4.5	Op	2º
	Farmacia		Edafología	4.5	Op	1º
Valencia	Ing.Agrónomo		Edafología y Climatología	5.4(3.5+1.2)	Op	1º
			Edafología Aplicada	3(1.5+1.5)	Op	2º
			Clasificación y Evaluación de suelos	3(1.5+1.5)	Op	
			Conservación de suelos	3(1.5+1.5)	Op	
			Suelos bajo riego	3(1.5+1.5)	Op	
			Física de los suelos	4.5(4.5+0)	Op	
			Físico-química de suelos	4.5(4.5+0)	Op	
			Análisis de suelos	6(3+3)	Op	
			Análisis agrícola	4(2+2)	Op	

Universidad	Titulación	Departamento	Denominación	Créditos	Tipo	Ciclo
Valencia	Ing. Agrónomo		Cartografía Geodésica	6(3+3)	Op	
			S.I.G.	6(3+3)	Op	
	Farmacia (Plan Antiguo)	Biología Vegetal	Geología	7.5(5.5+2)	T	1º
			Edafología	11(5.5+5.5)	T	2º
	Ciencia y Tecnología de los Alimentos		Contaminación de Suelos I		Op	
			Contaminación de Suelos II		Op	
			Edafología y Química Agrícola I		Op	
			Edafología y Química Agrícola II		Op	
	Biología		Edafología	9(6+3)	Op	2º
			Edafología Aplicada	7.5(4.5+3)	OP	2º

Universidad	Titulación	Departamento	Denominación	Créditos	Tipo	Ciclo
Valencia	Biología	Biología Vegetal	Química Agrícola	7(5+2)	Op	2º
			Evaluación de Impacto Ambiental	9(4.5+4.5)	Op	2º
			Técnicas Cartográficas	4.5(1+3.5)	Op	2º
	Química		Química Agrícola	7(5+2)	Op	2º
	Ingeniería Química		Química Agrícola	7(5+2)	Op	2º
Valladolid	I.T.A.	Ciencias Agroforestales	Edafología y Climatología Aplicada	6(3+3)	Ob	U
	Hortifruticultura y Jardinería (BOE 29/6/94)					
	Explot.Agropecuarias (BOE 28/8/95)		Edafología y Climatología	6(3+3)	T	U

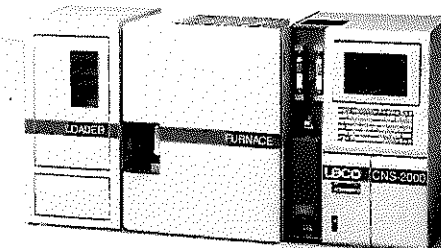
Universidad	Titulación	Departamento	Denominación	Créditos	Tipo	Ciclo
Valladolid	Industrias y Agrarias y Alimentarias BOE 9/5/94	Ciencias Agroforestales	Edafología y Climatología	3(1.5+1.5)	T	U
Zaragoza	Ing.Téc. Forestales BOE 28/8/95		Edafología y Climatología	6(3+3)	T	U
	Veterinaria		Agricultura	10.5(9+1.5)	T	U
	Ciencias y Tecnología de los Alimentos		Producción de Materias Primas	4.5(3+1.5)	T	U
(Huesca)	Ing. Agrónomo		Edafología	6(3+3)	T	

LECO, ESPECIALISTAS EN ANÁLISIS DE SUELOS

Dentro del área de Ciencias de la Tierra, LECO presenta su línea de instrumentación para análisis de suelos, que va desde analizadores de C H N S O simultáneos (macro y micromuestra), hasta analizadores de trazas de mercurio.

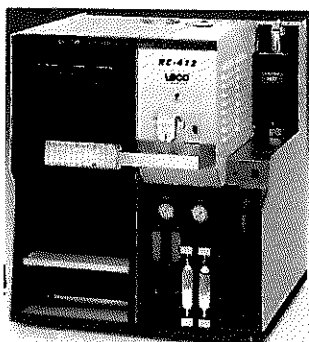
LECO CHN 1000 / CNS 2000

Analizadores por combustión para aplicaciones con muestras homogéneas y/o heterogéneas donde sea preciso una gran representatividad. Presentan la posibilidad de poder acoplar el analizador LECO CC-100, capaz de determinar carbonatos en menos de 4 minutos. Ideales para el análisis suelos de composición variable, fangos, residuos industriales y urbanos, fertilizantes etc., se caracterizan por un sistema de ahorro de consumibles patentado por LECO que ofrece los costes por análisis más bajos del mercado.



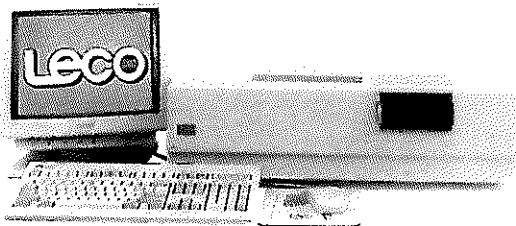
LECO RC-412

Analizador multifase de carbono, hidrógeno y humedad con horno de resistencia programable en diferentes etapas. Es el instrumento más rápido y eficiente para determinar cualitativa y cuantitativamente diferentes formas de carbono y agua. Puede memorizar hasta ocho programas para diferentes aplicaciones, lo que le convierte en un equipo ideal para el análisis de muy diferentes materiales, como CO₂ y pérdidas al fuego (LOI) en cementos, purezas en calizas, determinación de carbono orgánico total, carbono inorgánico, humedad libre, intersticial y total en suelos y rocas, etc.



LECO AMA 254

Permite determinar mercurio en muestras sólidas o líquidas en tan sólo 5 minutos sin preparación previa de las mismas. Suelos, fangos o aguas son tratados igual. Después de pesar la muestra, ésta de manera automática se introduce en un horno donde es calcinada y el mercurio queda atrapado en una amalgama de oro. Liberado por desorción térmica, es arrastrado a través de una doble cámara de absorción atómica que permite medir en 2 rangos. EL AMA 254 realiza de modo rápido, preciso y simple la determinación de trazas de mercurio en muestras sólidas y líquidas sin necesidad de pretratamiento y sus resultados son independientes de la matriz a analizar.



La calidad en el servicio de atención al cliente junto a más de sesenta años de experiencia en el campo de la instrumentación, avalan la confianza depositada en LECO por los principales laboratorios del mundo.

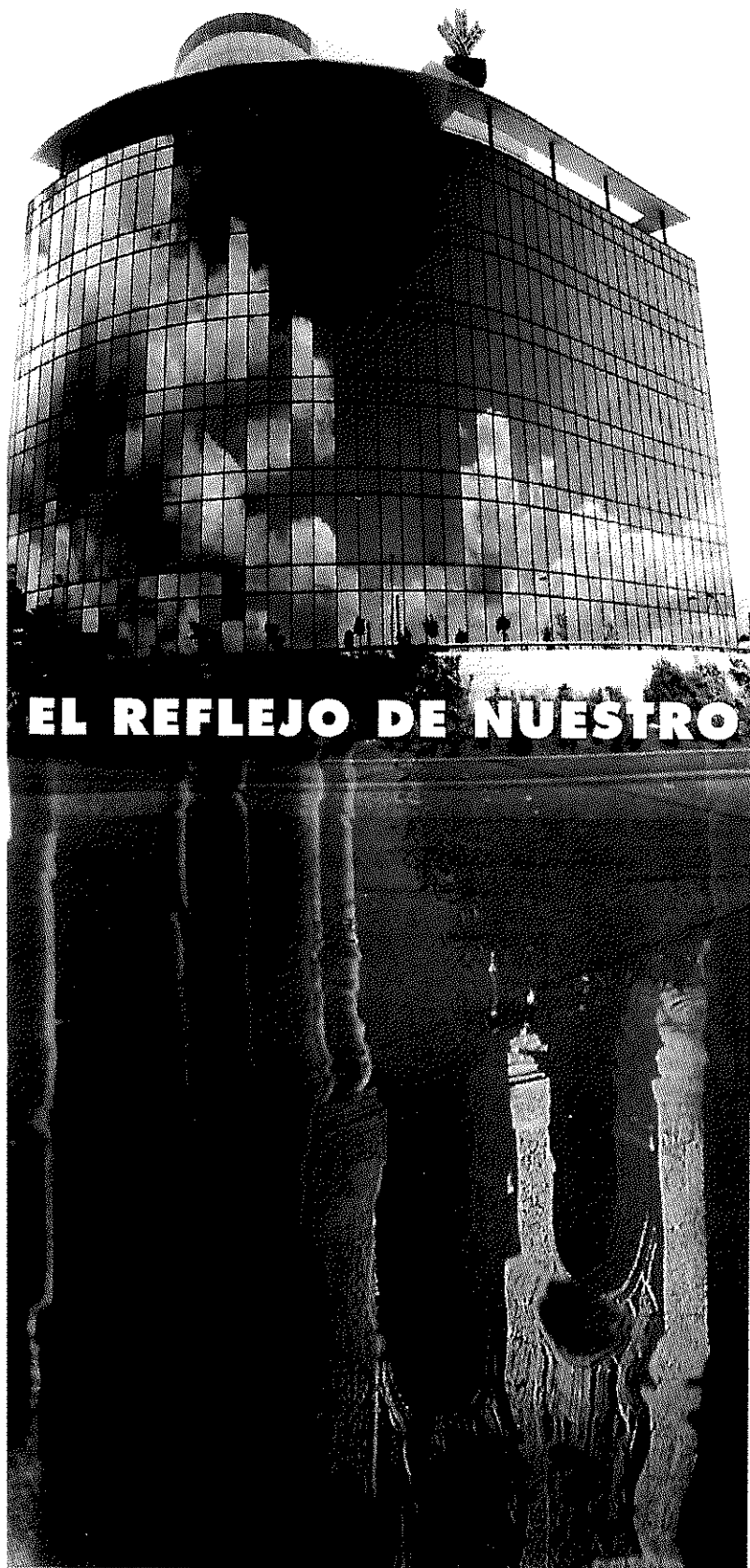
LECO INSTRUMENTOS, S.A.
Avenida de la Industria, 43
28760 Tres Cantos-MADRID
Teléfonos: (91) 803 12 50
803 50 70
Telefax: (91) 804 05 77



ISO-9002
Certification
No. FM 24045

(BSI-British Standards Institute)





EL REFLEJO DE NUESTRO ESFUERZO

La obra social de La Caja Rural
de Granada ha tenido
siempre muy presente el
pasado de nuestra ciudad.
Porque el futuro sólo se
alcanza desde la base del
máximo respeto al

patrimonio cultural y desde el
impulso de una ciudad que se
siente joven y ambiciosa.
En esa Granada, orgullosa de
su pasado y esperanzada con
su futuro, queremos ver el
reflejo de nuestro esfuerzo.



**CAJA RURAL
DE GRANADA**

La Caja de todos

