



ANALES DE EDAFOLOGIA Y AGROBIOLOGIA

CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

Anal. Edaf. Tomo XXXVIII. Núms. 1-2. Págs. 1-386

Madrid, Enero-Febrero 1979

SUMARIO

	<u>Páginas</u>
Prof. Dr. D. Julio Rodríguez Martínez (†)	3
SUELOS:	
Suelos volcánicos españoles. III. Olot (Gerona). Características morfológicas y químicas, por C. Vizcayno Muñoz, J. García Vicente y M. T. García González	7
Suelos volcánicos españoles. IV. Olot (Gerona). Mineralogía de la fracción arcilla, por C. Vizcayno Muñoz, M. T. García González y J. García Vicente	23
Suelos del Norte de la Sierra de Francia, por J. F. Gallardo y J. A. Egido	47
Caracterización de un suelo desarrollado sobre cenizas volcánicas de la Sierra Ecuatoriana, por Juan L. de Olmedo y Luis Mejía	67
Evolución de los minerales de la arcilla en cuatro perfiles de la Sierra de Francia (Salamanca), por M. Ledesma, M. A. Vicente, J. Gallardo y J. A. Egido	83
Calores de adsorción de fosfatos de trialquilo por montmorillonita, por G. Dios Canela y S. González García	99
Interacción del 1-2 propilén carbonato con montmorillonita. I. Estudio rontgenográfico y térmico, por G. Dios Canela	109
Acción de la hidrólisis ácida sobre los ácidos húmicos. Componente proteica, por J. Cegarra y F. Costa	121
Evaluación del peso molecular-promedio ponderal (Mw) de ácidos húmicos por un método combinado de gel-filtración y difusión, por F. J. González Vila y F. Martín Martínez	137
Estudio de la distribución vertical de Eumycetes en los Andosoles de Tenerife: Perfil Izaña, por G. Vivanco Gallego y A. M. Borges Alvarez	147
Ecological importance of antibiotics in soil: Production of antibiotics by species of <i>Penicillium</i> in an Andosol in the province of Navarra, Spain, by A. T. Martínez and C. Ramírez	159
FERTILIDAD DE SUELOS	
Effect of iron-nickel interactions on the availability of copper and manganese, by S. G. Misra and R. S. Dwivedi	167
Efecto del uso del suelo sobre algunos indicadores de fertilidad en dos subórdenes (Andept y Tropet) del Altiplano de Pasto, Colombia. I. Materia orgánica y bases cambiables, por Ricardo Guerrero, Alvaro Dávila y Carlos Torres	173
Efecto del uso del suelo sobre algunos indicadores de fertilidad en dos subórdenes (Andept y Tropet) del Altiplano de Pasto, Colombia. II. Disponibilidad de Cu, Zn, Fe y B, por Ricardo Guerrero, Alvaro Dávila y Carlos Torres	187
Efecto de la fertilización de soja con distintas formas de azufre, por C. Lluch, M. Gómez y J. Olivares	197
Equipo automático para cultivo hidropónico con solución circulante, por M. ^a P. Sánchez Conde y P. Azuara	207
Influencia del pH, arcilla y mecanismos de reacción del fósforo en el suelo sobre la capacidad tampón del ion fosfato, por J. A. Díez	221
NUTRICIÓN Y FISIOLÓGIA VEGETAL	
Efecto de la interacción NaCl-P sobre el contenido foliar de Fe, Mn, Zn, Cu y B, en plantas, por A. Cerda y F. T. Bingham	233
Crecimiento y metabolismo nitrogenado en plantas de <i>Nicotiana rustica</i> L. irradiadas con UV cercano. I. Caracteres vegetativos y aminoácidos, por M. ^a T. Piñol, J. Barceló y C. Morales	245
Crecimiento y metabolismo nitrogenado en plantas de <i>Nicotiana rustica</i> L. irradiadas con UV cercano. II. Acidos nucleicos: ADN y ARN, por M. ^a T. Piñol y C. Morales	257
Interacciones entre K, Ca y Mg a nivel de su absorción y distribución en plantas de tomate, por I. Agüi, M. Gómez y L. Recalde	267
Efecto de la proporción K, Ca y Mg en la solución nutritiva sobre la absorción y distribución de micronutrientes, por I. Agüi, M. C. Alvarez-Tinaut y L. Recalde Martínez	283
Evolución del proceso de biosíntesis proteica a través de la composición de aminoácidos libres en savia de tomatera por V. Hernando, P. Buenadicha y M. Torres. Correlaciones entre bioelementos en especies pratenses bajo los efectos de la madurez. I. Leguminosas, por A. Valdés Amado, B. García Criado y J. M. Gómez Gutiérrez.	301
	309

(Sigue en la tercera de cubierta)



Excmo. Sr. D. Julio Rodríguez Martínez (†)

PROF. DR. D. JULIO RODRIGUEZ MARTINEZ (†)

El 28 de enero de 1979 falleció en Santiago de Chile, Julio Rodríguez Martínez, Consejero de número del C. S. I. C., Académico de la Real Academia de Farmacia, Jefe de la Sección de Geoquímica y síntesis mineral del Instituto de Edafología y Biología Vegetal de Madrid, Catedrático de Cristalografía, Mineralogía y Mineralogénesis de la Universidad Autónoma de Madrid, Presidente del Grupo de Cristalografía de la Real Sociedad de Física y Química y otros muchos cargos actuales o pasados que harían interminable la relación. Pero todos ellos no pueden hacer olvidar su fuerte personalidad humana que se traducía en que para todos los que le conocían era simplemente Julio y en esa palabra se condensaban todas sus magníficas cualidades.

Ha muerto Julio. Y ha fallecido como vivió, trabajando. O quizás a causa del trabajo. Ha muerto en tierras lejanas, y para él muy queridas adonde había ido con otros compañeros; a un Congreso iberoamericano de su especialidad, y a impartir unas conferencias. Sus acompañantes habían vuelto ya, pero él aún tenía que realizar otros trabajos: ir a México a programar de un modo definitivo el curso de verano que otros años se celebraba en España con asistencia de alumnos iberoamericanos y que este año se iba a celebrar en aquel país con desplazamiento de profesores españoles. Esta proyección ibero-americana ha sido una constante de los últimos años de la vida de Julio. Han sido muy numerosos sus viajes comunicando su ciencia a través de cursillos y conferencias en gran parte de esos países. Pero los desplazamientos tenían asimismo otras finalidades; no era simple transmisión de ciencia —esporádicamente— sino que establecía contactos fructíferos que permitían estrechar relaciones que, posterior o simultáneamente, eran ocasión para la participación de otros maestros españoles que hacían Ciencia en esos países hermanos, y motivo de desplazamiento de estudiosos a nuestro país. Su preocupación era institucionalizar estas relaciones pues así adquirirían permanencia. De ese modo, y gracias a su gestión, se establecen las Cátedras de José María Albareda —recuerdo y admiración por el inolvidable Profesor— y García Lorca, en la Universidad de Lima, así como la de Felipe Lucena en Paraguay. El reconocimiento a estos méritos se traduce en los nombramientos de Catedrático «Honoris Causa» en la Universidad de Cuzco y de Catedrático de Honor en la histórica Universidad de San Marcos de Lima. También recibe grandes cruces de Colombia y Argentina como reconocimiento a su labor ingente de aproximación.

Consigue traer a Madrid el Congreso Ibero-Americano de Cristalología

grafía y es el promotor de la «Revista Ibero-Americana de Cristalografía», cuyo primer número ya ha visto la luz y que alternativamente se publicará en España y México. Esto da idea de sus contactos fructíferos directos y a través de la O. E. A. Su impacto ha sido muy grande y los frutos los alcanzarán los sucesores en su tarea, que no debe interrumpirse por razones obvias y en homenaje a su espíritu de colaboración.

La vida de Julio tiene como directriz el trabajo docente e investigador. Para él una sola cosa, pues no concibe que ambos campos puedan disociarse. Buen alumno, cursa con brillantez y casi simultáneamente las carreras de Ciencias (Sección de Químicas) y Farmacia. Del aprovechamiento que obtiene da cumplida cuenta la concesión del Premio Nacional de fin de carrera y Víctor de Plata. Sus trabajos de investigación, comenzados ya en el transcurso de sus estudios, le permiten acceder al grado de Doctor en Ciencias (1953) y de Farmacia (1955), donde obtiene el Premio del Doctorado.

La simultaneidad de docencia e investigación se manifiesta en el nombramiento de becario del C. S. I. C. —con 250 pesetas mensuales—, en la oposición a Profesor Adjunto, cargo que abandona por incompatibilidad con el obtenido, también por oposición, de Colaborador Científico del C. S. I. C. Esta llamada a profundizar en la investigación le lleva a disfrutar de becas March y Ramsay en Inglaterra; sus trabajos, de reconocida valía, le llevan a su paso a Investigador del C. S. I. C., cargo que de nuevo abandona por la obtención de la Cátedra de Cristalografía de la Universidad de Salamanca en 1962. Si se analiza esta trayectoria se comprueba claramente cómo en él, docencia e investigación, son una misma cosa; no son alternativas diferentes, sino situaciones administrativas que no invalidan la unidad de pensamiento.

La responsabilidad que le confiere su cargo de Catedrático en la Universidad de Salamanca y su vocación innata le ayuda al esfuerzo ingente de sacar de la nada un laboratorio modelo y comenzar la formación científica de personas, algunas de las cuales le han seguido a lo largo de toda su vida. Con dolor de abandonar parte de lo creado, pero impulsado por su afán creativo y renovador acepta la solicitud de la Universidad de Navarra, para desempeñar allí una Cátedra. Simultáneamente crea la Sección de Mineralogía del C. S. I. C., que aún pervive. Los cuatro años allí pasados son de trabajo intenso, pues también es necesario crear lo no existente. Su empuje realizador se reconoce en el nombramiento de Decano, cargo con que se inicia en las responsabilidades directivas.

Su espíritu inquieto le lleva a nuevas tareas. Se abren nuevos horizontes con la creación de la Universidad Autónoma de Madrid, cuya puesta en marcha exige un gran esfuerzo. Y a ella viene Julio, con fuerza, con empuje, a hacer surgir de la nada un nuevo Centro. No se conforma con el desarrollo de su Cátedra y crea el Departamento de Geoquímica, con una visión precisa de la interconexión entre materias. Su conexión con el C. S. I. C., nunca abandonada, se traduce en la Sección ya citada y en la incorporación a las tareas docentes del Departamento de Profesores de Investigación que imparten sus conocimientos

a los alumnos. De nuevo su concepción unitaria de docencia e investigación.

Vicedecano primero, luego Rector. Cargos de responsabilidad que no le hacen olvidar sus tareas investigadoras. Cerca de un centenar de trabajos publicados, asistencia a Congresos, formación de personal que alcanza cargo en el C. S. I. C. y en la Universidad. Creación de nuevas disciplinas como la Sección de Gemología. Trabajo, ardor e ímpetu en todas sus facetas. Y una visión clara de lo que quería y cómo debe hacerse.

Su prestigio y valía se reconocen en el nombramiento de Ministro de Educación y Ciencia, como galardón y nueva responsabilidad.

Todo su empuje dirigido hacia un fin: trabajar, formar gente, crear escuela. Yo que le tuve a mi lado desde segundo año de carrera, soy testigo de excepción de sus magníficas cualidades científicas, refrendadas por la calidad de sus trabajos y por la estima que merecían a los científicos.

Pero el trabajo, para dejar huella, debe ir unido a una comprensión de los participantes en sus quehaceres. Y esto exige una calidad humana, una cordialidad, una generosidad, un interés por todos los problemas de los cercanos a él, que tienen en Julio una expresión extraordinaria. Y, así, tiene grandes amigos, a los que ha ayudado en su quehacer científico y en su propia vida. Grandes amigos, que hoy —cuando puedan darse cuenta de lo que han perdido porque la mente se resiste a considerarlo—, están sumidos en la estupefacción y llenos de luto interior. Su muerte, inesperada, brutal, inconcebible cuando tanto y tanto le quedaba por hacer, termina una carrera que todos sabemos podía haber llegado muy alta. Dios, en los designios inexcrutables de su Providencia, ha querido llevárselo. Nosotros, los creyentes, acatamos Su Voluntad y aunque nos duela como cosa propia, nos remitimos a Su Bondad y esperamos que le haya acogido, alegremente, en su seno. Descanse en paz.—ANGEL HOYOS DE CASTRO.

SUELOS VOLCANICOS ESPAÑOLES

III. OLOT (GERONA). CARACTERISTICAS MORFOLOGICAS Y QUIMICAS

p o r

C. VIZCAYNO MUÑOZ, J. GARCIA VICENTE y M. T. GARCIA GONZALEZ

SUMMARY

VOLCANIC SOILS OF SPAIN. III. OLOT (GERONA). MORPHOLOGICAL AND CHEMICAL CHARACTERISTICS

The morphological and chemical characteristics of four profiles from Olot (Gerona) have been studied. The parent materials were volcanic ashes and basaltic coulees. The climate is humid after Thornthwaite's criterion.

In the upper horizons of the soils developed on basaltic coulees the contents in humic acids is higher than in fulvic acids. The contrary occurs in the soils developed on volcanic ashes.

The clay fractions of all investigated profiles are richer in amorphous SiO_2 , Al_2O_3 and Fe_2O_3 than the fractions smaller than 2 mm. The highest concentrations of these oxides is found in the soils developed on volcanic ashes.

El vulcanismo en la Península Ibérica se ha agrupado por la situación de sus manifestaciones, en tres líneas directrices casi paralelas con dirección NW-SE. Una línea central orientada hacia la falla del Ebro, a la cual pertenecen las erupciones del Campo de Calatrava, Serranía de Cuenca y la «Limburgita» de Nuévalos (Zaragoza). La segunda línea llamada faja litoral mediterránea, en la que se agrupan las manifestaciones eruptivas de la Isla de Alborán, Cabo de Gata, Columbretes y Baleares, continuando por la región volcánica de Olot (Gerona) y siguiendo luego por Francia. Por último, en la línea atlántica se sitúan los basaltos de Lisboa y el afloramiento de Lázaro-Las Cruces.

Continuando con el estudio de algunos suelos volcánicos españoles (Vizcayno y col., 1977 a), nos referimos en este trabajo a las características morfológicas y químicas de unos perfiles tomados en la región de Olot (Gerona), desarrollados sobre coladas basálticas y cenizas volcánicas del volcán Cruscat, el mayor de esta zona. Sin embargo, no hay que desechar la posibilidad de que como en esta región existen del orden de unos cuarenta pequeños volcanes que ocupan una extensión de 25 km², los materiales del Cruscat se encuentren mezclados con los procedentes de otros conos.

El Cruscat está localizado en una zona conocida como la Garrotxa, encontrándose al SE la llanura de hundimiento del Ampurdán, que es donde parece haberse iniciado el vulcanismo gerundense durante el Mioceno (Solé Sabaris, 1962). En el Cuaternario, el vulcanismo se localiza en la Garrotxa, encontrándose entre Olot y Gerona muchos conos de tipo Strómboli de dimensiones reducidas. Gelabert (1953), describe el Cruscat con una altura de 160 m., crater desbrehado al oeste desde la cumbre a la base, aislado, cónico, con lavas amarillentas en la vertiente norte y negras en la base.

DESCRIPCIÓN DE LOS PERFILES

Perfil GE-1

Provincia: Gerona (Olot).	Microtopografía: carretera de explotación de basalto.
Clasificación general: tierra parda ándica.	Pendiente: 2-6 por 100.
Situación: a la izquierda del km. 3 de la carretera a Santa Pau. Carretera de basalto a 2 km. al NW del Cruscat.	Orientación: Noroeste.
Coordenadas: 42° 10' 6" 12'.	Vegetación: <i>Q. lusitanica</i> , <i>Q. coccifera</i> , <i>Ulmus</i> , <i>Retama</i> , <i>Erica</i> .
Altitud: 540 m.	Material originario: colada basáltica del Cruscat o Batet.
Posición fisiográfica: colada rellenando fondo de valle.	Drenaje: externo e interno rápido.
Forma del terreno circundante: fuertemente ondulado.	Condiciones de humedad: húmedo todo el perfil.
	Pedregosidad: clase 3.
	Afloramientos rocosos: clase 2.

Hor.	Prof. (cm)	Descripción morfológica
A	0-20	7,5 YR 3/2. Textura franco-arenosa. Estructura moderada, muy fina, granular. Algo de tixotropía. Consistencia suelta. Poroso. Poco denso. No tiene cutanes. Raíces finas, muy finas y medianas muy abundantes. Pedregosidad 15 por 100. Transición plana y gradual.
(B)	20-50	5 YR 4/4. Textura franco-arenosa. Estructura moderada, fina, migajosa granular. Más tixotropía que en A. Consistencia suelta. Muy poroso. Poco denso. No tiene cutanes. Raíces muy finas y abundantes. Pedregosidad 15 por 100. Transición irregular y gradual.
(B)/C	50-80	7,5 YR 4/4. Muchos trozos de escorias gruesas, medianas y finas, más arenoso que los horizontes superficiales. Estructura granular débil, mediana. No tiene cutanes. Raíces escasas. Pedregosidad 30 por 100. Transición irregular y neta.
C	80-	Grandes bloques de basalto y escorias del mismo más alteradas, algo redondeadas por alteración, con material más fino entre fisuras y alguna pedregosidad.

Contiene mucho esqueleto mineral. Se seca algo. No es un suelo de mucha alteración. Tiene raíces gruesas y muy gruesas frecuentes. Tiene caracteres ándicos bastante desarrollados, pero no es un típico andosuelo al no cumplir bien con la textura, densidad y tixotropía. Tampoco es tierra parda desarrollada, está mejor integrado como tierra parda ándica con mayor tendencia a andosuelo que a tierra parda. Da reacción con FNa.

Perfil GE-2

Provincia: Gerona (Olot).
 Clasificación general: andosuelo ran-
 keriforme.
 Situación: km. 3,6 de la carretera a
 Santa Pau, camino de la izquierda
 a 100 m.
 Coordenadas: 42° 9' 6" 12'.
 Altitud: 560 m.
 Posición fisiográfica: pendiente con-
 vexa.
 Forma del terreno circundante: ondu-
 lada.
 Microtopografía: alrededores agrícolas
 terrazados. Perfil de loma suave
 natural.

Pendiente: 2-6 por 100.
 Orientación: Noroeste.
 Vegetación: roble, pino, retama, eri-
 ca, helechos.
 Material originario: cenizas y bombas
 volcánicas del Cruscat o Batet.
 Drenaje: externo e interno bastante
 rápido.
 Condiciones de humedad: húmedo todo
 el perfil, sólo se seca la cara al
 aire en la ceniza.
 Pedregosidad: clase 1.
 Afloramientos rocosos: clase 1.
 Erosión: poco acusada.

Hor.	Prof. (cm)	Descripción morfológica
A	0-10	5 YR 3/2. Textura franco-limosa. Estructura moderada granular, fina. Poca tixotropía. Cutanes no. Muchas deyecciones redondeadas (ovales). Consistencia muy frías. Raíces en cabellera muy fina, finas y medianas. Pedregosidad 5 por 100. Transición ondulada y difusa.
A(B)	10-20	5 YR 3/2. Textura franco-limosa. Estructura moderada, migajosa, mediana. Tixotropía apreciable. Cutanes no. Consistencia muy frías. Raíces abundantes. Pedregosidad 5 por 100. Transición ondulada y difusa.
(B)	20-25	5 YR 3/3. Textura franco-limosa. Estructura moderada, migajosa, mediana. Tixotropía notable. Cutanes no. Consistencia muy frías. Raíces frecuentes. Pedregosidad 2 por 100. Transición neta y plana.
(B)/C	25-40	5 YR 3/4. Textura franca. Estructura débil, granular, gruesa. Material muy fino. Tixotropía notable. Cutanes no. Consistencia muy frías. Pocas raíces. Pedregosidad 40 por 100. Transición gradual e irregular.
C	40-	Material de cenizas y bombas de tamaño gravilla. Escasas raíces. Pedregosidad más del 50 por 100. Coloración negra.

Todo el perfil es muy poroso y permeable. Da reacción con FNa en menos de 10 seg. e intensa. Los caracteres ándicos están bien desarrollados pero no es un típico andosuelo sino más bien un ranker sobre andosuelo rankeriforme algo empardecido.

Perfil GE-3

Provincia: Gerona (Olot).
 Clasificación general: andosue'lo.
 Situación: falda norte de Cruscat, ca-
 rretera de Petrofísica Ibérica Puzo-
 lana.
 Coordenadas: 42° 9' 5" 6" 13,5'.

Altitud: 620 m.
 Posición fisiográfica: ladera del cono
 volcánico.
 Forma del terreno circundante: valles
 y volcanes.
 Pendiente: 20 por 100.

Orientación: Norte. Condiciones de humedad: húmedo todo el perfil.
 Vegetación: helechos, chopos. Pedregosidad: clase 1.
 Material originario: cenizas volcánicas del Cruscat. Afloramientos rocosos: clase 1.
 Drenaje: externo e interno rápido. Erosión: no se aprecia, pero debió haberla.

Hor.	Prof. (cm)	Descripción morfológica
A	0-20	5 YR 2/2. Textura franco-limosa. Estructura moderada, migajosa, mediana. Muy friab'le. Cutanes no. Pedregosidad 2 por 100. Transición difusa y plana.
(B)	20-40	5 YR 3/3. Textura franco-limosa. Estructura moderada, migajosa, mediana. Muy friable. Cutanes no. Pedregosidad 2 por 100. Transición difusa y plana.
(B)/C	40-55	5 YR 3/4 Textura franca con gravilla. Estructura débil, granular, gruesa. Muy friab'le. Cutanes no. Pedregosidad 5 por 100. Transición gradual y plana.
C	55-85	2,5 YR 2/0. Gravilloso. Estructura de ceniza. Suelto. Cutanes no. Pedregosidad 15 por 100. Transición ondulada y neta.
R	85-	2,5 YR 2/0. Ceniza. Estructura de ceniza. Suelto. Pedregosidad más del 50 por 100.

Andosuelo típico. Da reacción rápida con FNa en 10 seg. e intensa. En el horizonte A hay dos zonas: de 0 a 10 más enraizado y orgánico y de 10 a 20 con raíces abundantes, gruesas y muy gruesas, medianas y finas en cabellera hasta los 55 cm. El dominio de ellas está en el (B) donde se nutren.

Tixotropía en todos los horizontes del suelo, sobre todo en el (B).

Perfil GE-4

Provincia: Gerona (Olot).
 Clasificación general: tierra parda ándica.

Situación: camino que cruza la Fageda hasta el km. 3,500 de la carretera de Santa Pau a la ermita de San Miguel del Corp, al final de la carretera local que sale del km. 46,500 a la carretera de San Feliu de Pollards.

Coordenadas: 42° 09' 6" 11'.

Altitud: 510 m.

Posición fisiográfica: colada basáltica de superficie.

Forma del terreno circundante: muy

accidentado y colada más llanas de valle superpuestas.

Microtopografía: niveles irregulares de las coladas.

Pendiente: casi llano.

Orientación: Noroeste.

Vegetación: *Fagus*, *Quercus*, pinos, retama, helechos.

Material originario: colada de basalto.

Drenaje: externo e interno rápido.

Condiciones de humedad: húmedo todo el perfil.

Pedregosidad: clase 3.

Afloramientos rocosos: clase 3.

Erosión: no apreciable.

Hor.	Prof. (cm)	Descripción morfológica
A	0-15	5 YR 2/2. Textura franca. Estructura moderada, migajosa, gruesa. Muy frías a sueltas. Cutanes no. Pedregosidad 5 por 100. Reacción con FNa débil y lenta. Transición difusa y plana.
(B)	15-40	5 YR 3/3. Textura franca. Estructura débil. Consistencia muy frías. Cutanes no. Pedregosidad 15 por 100. Reacción con FNa débil y lenta. Transición irregular y gradual.
C	40-	Abigarrado con negro grisáceo de la escoria basáltica en bloques y muy grumosa. Consistencia suelta. Pedregosidad más del 50 por 100. Reacción con FNa rápida e intensa.

En la colada basáltica de superficie, se desarrolla una tierra parda ándica, ya que al hacer la reacción con FNa tarda casi 30 seg., solo al llegar al horizonte C, la reacción es fuerte y rápida; lo que indica, que quizás por el propio material, al ser más pobre en alteración y regeneración que las cenizas, lo que nos induce a clasificarlo como tierra parda ándica. La tixotropía es baja en todos los horizontes o casi inapreciable.

Las raíces están distribuidas en A y (B), aunque en éste en menor proporción.

TÉCNICAS EXPERIMENTALES

El estudio del clima se ha realizado siguiendo el método de Thornthwaite (1948), obteniendo la fórmula y ficha climática. Para esta última, se han tenido en cuenta las consideraciones de Tamés (1949).

El análisis mecánico se ha hecho siguiendo el método de Bouyoucos, previa dispersión de las muestras con ultrasonido durante diez minutos.

Para las determinaciones de carbono y materia orgánica se siguieron los métodos de Walkley (1934 y 1947), mientras que el fraccionamiento de la materia humificada se realizó por el método de Dabin (1971).

La extracción de los productos minerales amorfos se ha realizado por dos métodos, el primero siguiendo los tratamientos del citrato-ditionito (Mehra y Jackson, 1960), carbonato sódico (Jackson, 1956) y sosa (Hashimoto y Jackson, 1960). Este método se ha utilizado con el objeto de poder identificar mejor los materiales cristalinos, puesto que el aluminio y sílice coloidal enmascaran los efectos de difracción y deforman las bandas de vibración en absorción infrarroja de estos minerales. El segundo método (Segalen, 1968) fue utilizado, ya que permite evaluar cuantitativamente el contenido en amorfos. Consiste en aplicar tratamientos alternativos ácido (CIH 8 N)-base (NaOH 0,5 N), que permiten construir curvas acumulativas.

La determinación cuantitativa de hierro, aluminio y sílice en los líquidos extraídos por ambos métodos se ha realizado utilizando espectrofotometría de absorción atómica.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Estudios del clima

Los datos climáticos utilizados han sido los publicados en los Boletines Meteorológicos de la estación de Olot, entre los años 1952 y 1960, ya que datos posteriores no se han tomado por ser incompletos o inexistentes.

En esta región las precipitaciones medias anuales varían entre 70 y 93 mm., exceptuando en los años 1959 y 1960, que aumentan a 146 y 133 mm., respectivamente. El mes más lluvioso es junio y el más seco enero, seguido de noviembre y mayo.

El clima según Thornthwaite es:

$I_m = 49,26$	B_2 húmedo
$I_a = 5,11$	r ninguna falta de agua
$E. T. P. = 72,08$	B'_2 mesotérmico
$\% E. T. P. \text{ estival} = 45,13$	a'

En la figura 1 se encuentra el climograma de Thornthwaite, en el que se observa que hay una falta de agua de 2,68 mm. en el mes de agosto; en el mes de septiembre se produce el almacenamiento, existiendo desde octubre hasta abril y en junio un exceso de agua de 34,08 mm. La reserva del suelo se utiliza en mayo y julio.

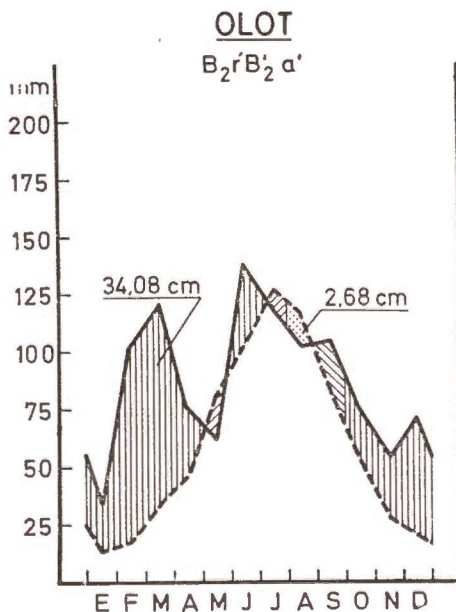


Fig. 1.—Climograma de Thornthwaite.

Análisis mecánico

Como nos ocurría con anterioridad en el estudio de los perfiles de Tenerife y La Palma (Vizcayno y col., 1977 a), hemos encontrado una gran dificultad en la dispersión de estas muestras, por lo que no se han expuesto los resultados obtenidos del análisis mecánico.

Materia orgánica

Los resultados obtenidos se encuentran en la tabla I.

El contenido en materia orgánica es mayor en los horizontes superficiales de los basaltos (36 por 100, 23 por 100) que en las cenizas (14 por 100, 17 por 100), siendo en estos últimos suelos su disminución con la profundidad mucho menos acusada.

La razón C/N es más alta en los perfiles desarrollados sobre basaltos que en los de cenizas, permaneciendo en estos últimos prácticamente constante en los distintos horizontes.

El contenido en ácidos fúlvicos y húmicos disminuye con la profundidad en todos los perfiles, excepto en el horizonte (B) del perfil GE-2. En los horizontes A de los suelos desarrollados sobre coladas basálticas, el contenido en ácidos húmicos es ligeramente superior al de ácidos fúlvicos; el caso contrario ocurre en los suelos cuyo material originario son cenizas volcánicas. Este hecho nos parece debido a que estos últimos suelos se encuentran menos evolucionados por ser más jóvenes.

En todos los perfiles de la zona aquí estudiada el contenido de ácidos fúlvicos es mayor que el de húmicos en los horizontes profundos.

Productos amorfos

De los estudios realizados mediante la aplicación de los métodos de Mehra y Jackson (1960), Jackson (1956) y Hashimoto y Jackson (1960), en la fracción arcilla de los perfiles estudiados, se observa que el Fe_2O_3 amorfo se extrae casi en su totalidad en los tratamientos con citrato-ditionito. La alúmina amorfa se extrae en mayor o menor proporción en todos los tratamientos, mientras que la sílice amorfa presenta su mayor extracción en el tratamiento con sosa. Estos hechos coinciden con los observados en las muestras de las Islas Canarias (Vizcayno y col., 1977 a).

En la fig. 2 se presentan los gráficos correspondientes al movimiento de los óxidos amorfos de silicio, aluminio y hierro, extraíbles con citrato-ditionito, carbonato y sosa. Observamos que la alúmina y sílice se extraen en mayor proporción que el Fe_2O_3 .

Los resultados obtenidos por el método de Segalen (1968), en la fracción arcilla y en la menor de 2 mm., se encuentran representados en las figuras 3 y 4, respectivamente. En las tablas II, III y IV se encuentran los valores totales extraídos por los métodos de Mehra, Jackson,

TABLE I
Materia orgánica

Perfil	Hor	Prof. (cm)	M. O. total del suelo				M. O. humificada				
			% C	% M. O.	% N	C/N	% C AcF	% C AcH	% C Humina	GH	AcF/AcH
GE-1	A	0-25	20.98	36.2	1.100	19.07	4.22	4.47	11.94	98.33	0.94
	(B)	25-50	3.44	5.9	0.218	15.78	1.42	0.72	1.28	99.42	1.97
	C	50-80	0.81	1.4	0.034	23.82	—	—	—	—	—
GE-2	A	0-10	8.65	14.9	0.620	13.95	2.75	2.26	3.48	98.15	1.21
	A (B)	10-20	7.22	12.4	0.540	13.37	1.96	1.60	3.62	99.45	1.22
	(B)	20-25	6.49	11.2	0.480	13.52	2.38	1.56	2.53	99.69	1.52
GE-3	A	0-20	10.14	17.5	0.780	13.00	3.73	3.13	3.20	99.21	1.19
	(B)	20-40	6.16	10.6	0.420	14.67	2.17	1.72	2.55	99.67	1.26
	(B)/C	40-55	3.17	6.4	0.274	13.54	1.55	0.86	1.29	99.73	1.80
GE-4	A	0-15	13.45	23.1	0.880	15.28	3.56	3.94	5.82	99.03	0.90
	(B)	15-40	7.81	13.5	0.540	14.46	2.86	2.09	2.87	98.97	1.37

Hashimoto y Segalen, así como el contenido en amorfos obtenido por el método del último autor.

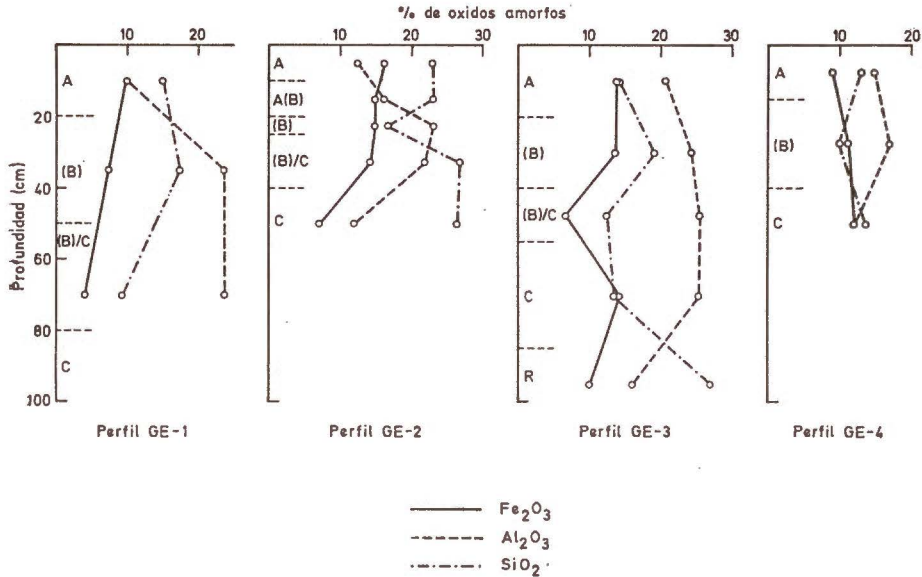


Fig. 2.—Contenido de los óxidos amorfos con la profundidad.

De este conjunto de datos observamos una serie de conclusiones:

Las cantidades de Fe_2O_3 y Al_2O_3 totales extraídos y amorfos por ambos métodos son muy similares, mientras que la sílice total extraída por el método de Segalen es bastante mayor.

En los suelos desarrollados sobre cenizas volcánicas, el contenido de Fe_2O_3 amorfo es mayor que en los suelos cuyo material originario son coladas basálticas.

El contenido en alúmina amorfa aumenta con la profundidad, en la fracción arcilla de los perfiles desarrollados sobre basaltos, mientras que en la fracción menor de 2 mm. de éstos y en las dos fracciones de los perfiles GE-2 y GE-3, el mayor contenido se encuentra en los horizontes de alteración.

Para el Fe_2O_3 amorfo, en la fracción arcilla del horizonte (B)/C del perfil GE-1, se observan tres tramos perfectamente distinguibles en la curva de disolución diferencial, que sugieren en nuestro caso la existencia de tres clases de hierro con distinto grado de cristalinidad.

Los óxidos amorfos de hierro y aluminio, son solubilizados en las dos o tres primeras extracciones, exceptuando los horizontes más profundos que necesitan tres o cuatro tratamientos. Este hecho parece ser debido a que, como es lógico, en profundidad los materiales están menos alterados, por lo que la extracción de los productos amorfos es más

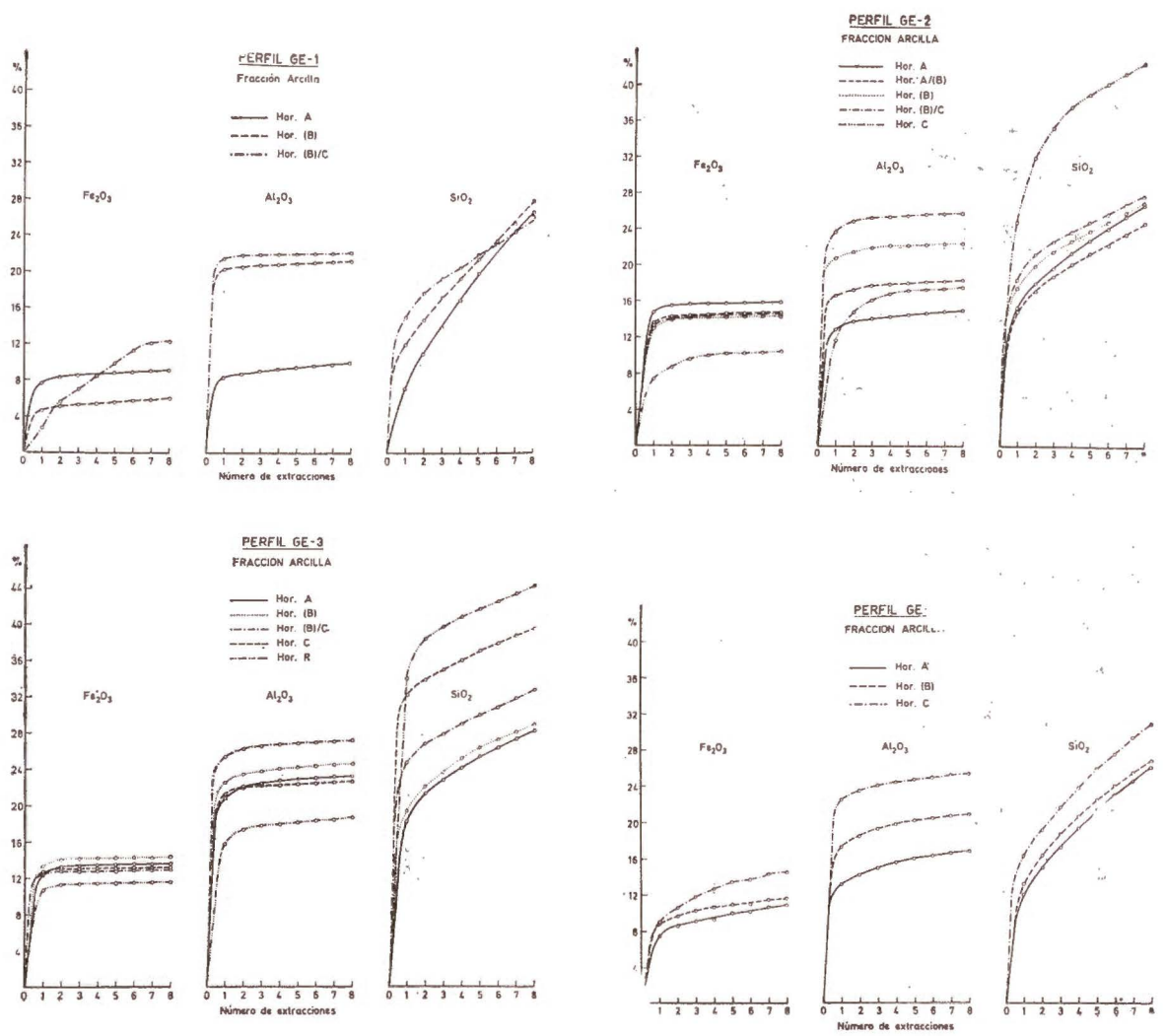


Fig. 3.—Curvas acumulativas de extracción de productos amorfos,

TABLE II
Valores en % de Fe_2O_3 extraído

Perfil	Horizonte	Arcilla			< 2 mm.	
		Total extraído		Amorfo	Total extraído	Amorfo
		(1)	(2)	(2)	(2)	(2)
GE 1	A	9,9	9,1	8,1	4,3	3,5
	(B)	7,6	6,1	4,9	5,9	4,1
	(B)/C	4,2	12,4	2,8	2,5	1,1
GE 2	A	16,2	16,0	15,5	12,8	10,5
	A (B)	15,1	14,8	14,3	12,9	10,6
	(B)	15,2	14,5	14,1	14,6	13,3
	(B)/C	14,4	14,6	14,0	14,8	13,4
	C	7,0	10,5	9,8	10,3	7,8
GE 3	A	14,0	13,7	13,4	11,1	9,2
	(B)	13,6	14,4	14,1	12,5	11,0
	(B)/C	6,8	13,0	12,8	11,8	10,0
	C	14,4	13,2	13,0	11,4	9,6
	R	10,1	11,6	11,3	8,9	6,6
GE 4	A	8,8	10,9	8,2	5,3	4,2
	(B)	10,9	11,6	9,8	7,9	6,1
	C	12,0	14,5	11,1	7,8	6,0

(1) Métodos de Mehra y Jackson (1960), Jackson (1956) y Hashimoto y Jackson (1960).

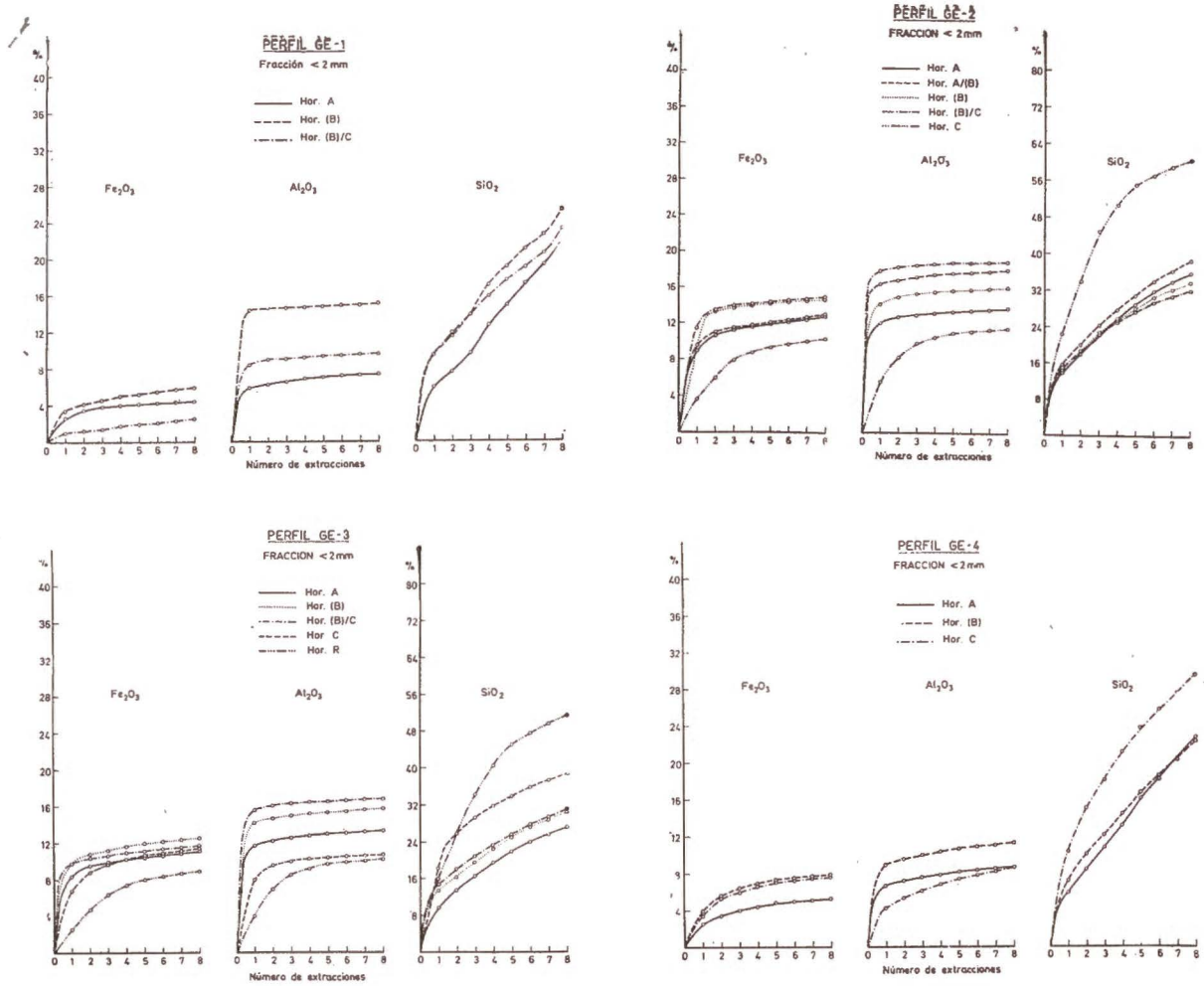
(2) Método de Segalen (1968).

dificultosa. Este comportamiento se observa mejor en los suelos desarrollados sobre cenizas que en los desarrollados sobre basaltos, y aunque teóricamente el proceso de alteración de las cenizas volcánicas es más rápido y homogéneo que el de los basaltos, en nuestro caso, estos últimos se encuentran más alterados porque son suelos de más antigua formación.

La extracción de la sílice es más paulatina que las de los otros óxidos amorfos, pero sólo en algunos casos, como en la fracción arcilla de los perfiles GE-2 y GE-3, es fácil establecer el punto en el cual comienza la disolución del material cristalino.

En los suelos que tienen como material originario cenizas volcánicas, hay una cantidad considerablemente mayor de sílice amorfa que en el resto de las muestras. Esto es debido a que aquellos suelos tienen un mayor contenido de vidrios volcánicos, como se ha puesto de manifiesto por el estudio mineralógico realizado.

La sílice amorfa aumenta con la profundidad en todos los perfiles, haciéndose más patente en los suelos desarrollados a partir de cenizas



volcánicas. Este hecho coincide con la disminución del contenido y cristalinidad de los minerales de la arcilla con la profundidad y con su mejor cristalización en los horizontes superiores de los suelos, cuyo material originario son coladas basálticas.

T A B L A I I I
Valores en % de Al_2O_3 extraído

Perfil	Horizonte	Arcilla			< 2 mm.	
		Total extraído		Amorfo	Total extraído	Amorfo
		(1)	(2)	(2)	(2)	(2)
GE 1	A	10,0	9,9	8,4	7,3	5,3
	(B)	23,8	21,2	20,5	15,1	14,1
	(B)/C	23,7	22,2	21,9	9,6	8,8
GE 2	A	12,5	15,1	13,6	14,0	12,8
	A (B)	16,1	18,5	17,5	18,1	16,9
	(B)	23,1	22,6	21,8	16,2	15,2
	(B)/C	21,8	25,9	25,0	19,0	18,4
	C	12,0	17,6	16,6	11,7	10,3
GE 3	A	20,6	23,3	22,3	13,3	12,5
	(B)	24,5	24,6	23,6	15,8	14,4
	(B)/C	25,3	27,2	26,3	16,8	16,0
	C	25,2	22,7	21,9	10,7	9,7
	R	16,0	18,7	17,3	10,2	8,9
GE 4	A	14,7	16,8	14,5	8,6	7,0
	(B)	16,9	20,8	18,9	11,2	9,4
	C	21,1	25,4	23,4	8,6	5,4

(1) Métodos de Mehra y Jackson (1960), Jackson (1956) y Hashimoto y Jackson (1960).

(2) Método de Segalen (1968).

En la fracción arcilla de todos los horizontes hay mayor proporción de óxidos amorfos que en la menor de 2 mm. Solo se observa una excepción para la sílice amorfa en el perfil GE-2, lo que atribuimos a que en este perfil el vidrio se encuentra menos fragmentado que en el GE-3.

En la tabla V se encuentran las razones molares entre los contenidos en los óxidos amorfos obtenidos por el método de Segalen (1968). Se observa que la razón SiO_2/Al_2O_3 es mayor en los perfiles GE-2 y GE-3, por lo que podemos afirmar que si bien en las cenizas se libera

mayor cantidad de Al_2O_3 que en las coladas basálticas, la cantidad de SiO_2 extraída es todavía superior. Estos mismos resultados, aunque obtenidos por otros métodos, han sido expuestos con anterioridad por Rodríguez Sanchidrián y Monturiol Rodríguez (1973).

TABLE IV
Valores en % de SiO_2 extraído

Perfil	Horizonte	Arcilla			< 2 mm.	
		Total extraído		Amorfo (2)	Total extraído (2)	Amorfo (2)
		(1)	(2)			
GE 1	A	12,4	26,5	8,4	22,0	4,1
	(B)	17,6	27,9	10,9	25,1	10,3
	(B)/C	9,4	26,2	15,3	23,3	10,2
GE 2	A	22,9	26,9	16,2	35,9	19,8
	A (B)	23,1	14,8	15,7	38,6	20,0
	(B)	16,7	27,1	18,6	33,8	20,8
	(B)/C	26,9	27,8	19,8	32,1	21,0
GE 3	C	26,5	42,4	33,3	60,5	47,6
	A	14,4	28,2	20,4	27,2	14,6
	(B)	18,9	18,8	22,0	30,7	15,6
	(B)/C	12,5	32,6	25,2	31,1	17,1
	C	13,8	39,4	32,8	38,8	27,2
GE 4	R	26,7	44,2	37,2	51,7	35,7
	A	13,0	25,8	13,4	22,7	5,2
	(B)	10,1	26,7	15,5	22,2	7,6
	C	13,8	30,7	17,6	29,6	14,0

- (1) Métodos de Mehra y Jackson (1960), Jackson (1956) y Hashimoto y Jackson (1960).
(2) Método de Segalen (1968).

En todos los perfiles la razón SiO_2/Fe_2O_3 aumenta considerablemente con la profundidad, tanto en la fracción arcilla como en la menor de 2 mm., circunstancia que es normal, ya que la sílice aumenta con la profundidad, mientras que el Fe_2O_3 amorfo se mantiene prácticamente constante.

TABLA V

Perfil	Hor.	SiO ₂ /Al ₂ O ₃ (amorfa)		SiO ₂ /Fe ₂ O ₃ (amorfa)	
		Arcilla	< 2 mm	Arcilla	< 2 mm
GE—1	A	1,70	1,10	2,77	3,11
	(B)	0,90	1,21	5,43	6,68
	(B)/C	1,17	1,97	14,52	24,66
GE—2	A	2,02	2,62	2,77	5,00
	A (B)	1,51	2,01	2,93	5,00
	(B)	1,44	2,33	3,51	4,15
	(B)/C	1,34	1,94	3,75	4,18
	C	3,40	7,85	9,04	16,23
GE—3	A	1,54	1,99	4,04	4,20
	(B)	1,58	1,84	4,15	3,78
	(B)/C	1,63	1,82	5,24	4,55
	C	2,53	4,76	6,70	7,53
	R	3,65	6,82	8,75	14,39
GE—4	A	1,56	1,26	4,33	3,27
	(B)	1,39	1,36	4,20	3,24
	C	1,27	4,40	4,20	6,20

Agradecimiento

Deseamos expresar nuestro agradecimiento a los Profesores Guerra y Monturiol, por la toma y clasificación de los suelos.

RESUMEN

Se estudian las características morfológicas y químicas de cuatro perfiles de la región de Olot (Gerona).

Los materiales originarios han sido cenizas volcánicas y coladas basálticas. Según la clasificación de Thornthwaite el clima en esta zona es húmedo.

En los horizontes superficiales de los suelos cuyo material originario son coladas basálticas, el contenido de ácidos húmicos es superior al de ácidos fúlvicos, ocurriendo lo contrario en los suelos desarrollados sobre cenizas.

En la fracción arcilla de todos los perfiles hay más proporción de SiO₂, Al₂O₃ y Fe₂O₃ amorfos que en la fracción menor de 2 mm. Los contenidos más altos de estos óxidos se encuentran en los suelos desarrollados sobre cenizas volcánicas.

Instituto de Edafología y Biología Vegetal. Madrid.

BIBLIOGRAFÍA

- DABIN, B. (1971). Etude d'une methode d'extraction de la matiere húmiqua du sol. *Science du Sol*, 1, 47-73.
- GELABERT, J. (1953). Los volcanes extinguidos de la provincia de Gerona. San Feliu de Guixols.
- HASHIMOTO, I. and JACKSON, M. L. (1960). Rapid dissolution of allophane and kaolinite-halloysite after dehydration. *Clays and Clay Minerals. Proc. 7th Nat. Conf.*, 102-113.
- JACKSON, M. L. (1956). *Soil Chemical Analysis*. Constable and Company Ltd., London.
- MEHRA, O. P. and JACKSON, M. L. (1960). Iron oxide removal soil clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. *Clays and Clay Minerals*, 5, 317-327.
- RODRÍGUEZ SANCHIDRIÁN, J. y MONTURIOL, F. (1973). Andosuelos de la provincia de Gerona. *Anal. Edaf.*, XXXII, 833-863.
- SEGALEN, P. (1968). Note sur une methode de determination des produits mineraux amorphes dans certains sols a hydroxides tropicaux. *Cah. O. R. S. T. O. M. ser. Pédol.*, VI, 105-126.
- SOLÉ SABARIS, L. (1962). Observaciones sobre la edad del vulcanismo gerundense. *Mem. R. Ac. C. Artes, Barcelona*, 34, 359-372.
- TAMÉS ALARCÓN, C. (1949). Bosquejo del clima de España. *Bol. I. N. I. A.*, IX, 20, 49-123.
- THORNTWHAITE, C. W. (1948). An approach toward a rational classification of climate. *Geog. Rev.*, 4, 73-76.
- VIZCAYNO MUÑOZ, C., GARCÍA VICENTE, J. y GARCÍA GONZÁLEZ, M. T. (1978). Suelos volcánicos españoles. I. *Anal. Edaf.*, 37, 1017.
- WALKLEY, A. and BLACK, A. I. (1934). An examination of the Degt jareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.*, 37, 29-38.
- WALKLEY, A. (1947). A critical examination of rapid method for determining organic carbon in soil effects of variations in digestion conditions and of inorganic soil constituents. *Soil Sci.*, 63, 251-264.

Recibido para publicación: 13-VI-77

SUELOS VOLCANICOS ESPAÑOLES

IV. OLOT (GERONA). MINERALOGIA DE LA FRACCION ARCILLA

p o r

C VIZCAYNO MUÑOZ, M. T. GARCIA GONZALEZ y J. GARCIA VICENTE

S U M M A R Y

VOLCANIC SOILS OF SPAIN. IV. OLOT (GERONA). MINERALOGICAL CHARACTERISTICS OF THE CLAY FRACTION

The clay fractions of four profiles, developed on volcanic ashes and basaltic coulees in Olot (Gerona), have been investigated in relation to their mineralogical compositions. Techniques of X-ray diffraction, infrared spectroscopy, electron microscopy and differential thermal analysis have been used.

Allophane, minerals of the kaolin group (mainly kaolinite), chlorite and mica minerals have been identified. In several cases the presence of vermiculite and montmorillonite was also detected. Quartz, feldspath and augite form the primary minerals.

It is concluded from this study that the soils developed on basaltic coulees are older than those formed on volcanic ashes.

Los constituyentes amorfos de los suelos derivados de materiales volcánicos han sido estudiados extensa e intensivamente, ya que son predominantes en la fracción arcilla y tienen gran influencia en las propiedades físicas y químicas del suelo. Se han hecho considerables progresos en la caracterización de estos constituyentes amorfos, especialmente en el alofán, imogolita y ópalo, aplicando la técnica de disolución selectiva combinada con métodos físicos, principalmente microscopía electrónica e infrarrojos.

En los suelos volcánicos los principales factores que favorecen la formación de gran cantidad de sustancias amorfas son la existencia de rocas ricas en vidrio, de edad reciente y que se encuentran sometidas a un clima regularmente húmedo. Por esta razón Pedro (1968) piensa que el concepto de zonalidad climática no puede ser aplicado a los suelos formados sobre materiales volcánicos. Es probablemente a la formación de soluciones de alteración muy ricas en sílice y en cationes producidas por una hidrólisis excepcionalmente intensa, a la que se debe la génesis abundante de alofanos e hidróxidos amorfos. Las condiciones de equi-

librio suelo/solución varían con la naturaleza de la roca volcánica y el clima, evolucionando con la edad y con los efectos de rejuvenecimiento del suelo. El desarrollo de la cristalización de los productos de alteración dará lugar a diversas especies de alofán y de los hidróxidos formados. Finalmente diferentes factores de origen mineral, orgánico y climático intervendrán después para inhibir o producir la evolución de los productos amorfos hacia la cristalización.

Los vidrios volcánicos se alteran muy rápidamente como consecuencia de su porosidad y de su estado amorfo, produciendo unos primeros productos de alteración muy silíceos por desagregación del vidrio después de la disolución del cemento que une los conglomerados entre sí. Al principio es imposible identificar las arcillas por difracción de rayos X, pero al microscopio electrónico se pueden ver ya los bosquejos de filitas. A partir de este momento, la aparición de los minerales de la arcilla puede ser relativamente rápida.

Trichet, en 1970, ha demostrado la gran analogía existente entre los productos de alteración de los vidrios volcánicos y los alofanos naturales. En la alteración de un vidrio basáltico, se liberan unas masas esféricas de diámetro entre 2.000 y 8.000 Å, cuya composición es semejante a la del vidrio inicial, pero sensiblemente más rica en sílice y magnesio y más pobre en calcio, potasio y sodio. La razón $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ tiene un valor de 7,8, más elevada que la del vidrio (5,9) y semejante a aquella observada por Shoji y Masui (1969) en la fracción arcilla de suelos poco evolucionados de cenizas basálticas. Trichet llega a la conclusión de que los minerales neoformados son silicatos del grupo 2:1, cuando no hay lavado y la cantidad de sílice en solución es alta; silicatos pobremente cristalizados del grupo 1:1 (haloisita y metahaloesita), cuando el lavado es fuerte y el contenido de sílice es próximo a la saturación y óxidos de aluminio y hierro cuando el lavado es muy fuerte y el contenido en sílice es muy pequeño.

En este trabajo que forma parte de un conjunto realizado sobre suelos volcánicos españoles, estudiaremos las características mineralógicas de la fracción arcilla de cuatro perfiles de la región de Olot (Gerona), desarrollados sobre coladas basálticas y cenizas volcánicas.

MATERIALES Y MÉTODOS

En este trabajo se estudian cuatro perfiles de la región volcánica de Olot en Gerona, dos de ellos desarrollados sobre coladas basálticas (GE-1 y GE-4) y los otros dos sobre cenizas volcánicas (GE-2 y GE-3). Todos ellos han sido descritos en un trabajo anterior (Vizcayno y col, 1977 c).

La fracción arcilla de las muestras fue obtenida por sedimentación a partir de soluciones acuosas al 1 por 100, utilizando como dispersante hexametáfosfato sódico. Para mejorar las suspensiones, fueron tratadas algunas veces con ultrasonido.

Una vez extraída la fracción menor de 2 μm , fue eliminada la materia orgánica por sucesivos tratamientos con peróxido de hidrógeno. Los

óxidos amorfos fueron extraídos por los métodos del citrato-ditionito (Mehra y Jackson, 1960), carbonato sódico (Jackson, 1956) y sosa (Hashimoto y Jackson, 1960).

Para la identificación mineralógica de la fracción arcilla se siguieron las técnicas de difracción de rayos X, espectroscopía de absorción infrarroja, microscopía electrónica y análisis térmico diferencial.

Los diagramas de difracción de rayos X se han realizado en un difractómetro Philips PW 1130/00, con radiación $K\alpha$ del Cu, excitada a 40 kV, 40 mA.

Dada la existencia de mezclas de los minerales de la arcilla y como consecuencia de ciertas similitudes cristalográficas, fue necesaria la obtención de los siguientes difractogramas de cada una de las muestras saturadas con K y Mg:

- a) De polvo desorientado con el material finamente molido.
- b) Agregado orientado (García Vicente, 1951).
- c) Agregado orientado solvatado con etilenglicol.
- d) Agregado orientado solvatado con hidracina.
- e) Agregado orientado calentado a 112, 300, 550 ó 650° C.

Los espectros de absorción infrarroja se realizaron con un espectrofotómetro Perkin Elmer mod. 325, de doble haz, utilizando como célula de absorción los comprimidos que se prepararon con 300 mg. de BrK (previamente desecado a 400° C) y 3 mg. de muestra (Hidalgo y Serratos, 1955). Como célula de comparación, se emplearon comprimidos de BrK.

El estudio por microscopía electrónica se realizó con un microscopio Philips ME 300, siendo las muestras examinadas por transmisión directa, una vez libres de materia orgánica, y otra vez después de eliminar los productos amorfos.

Los termogramas se realizaron en una termobalanza Chio modelo TRDA₃-H con una velocidad de calentamiento de 10° C/min. Las muestras se encontraron libres de materia orgánica y fueron desecadas previamente con gel de sílice.

RESULTADOS

Difracción de rayos X

En las gráficas 1, 2, 3 y 4 se muestran los diagramas de difracción de la fracción arcilla, por el método de polvo desorientado de los distintos horizontes de los perfiles estudiados, después de haber eliminado la materia orgánica y los geles amorfos.

Los datos proporcionados por estos diagramas no resultan suficientes para identificar los minerales de la arcilla. En cuanto a los minerales primarios, observamos las reflexiones características de los feldspatos a 4,04, 3,75, 3,79, 3,20, 2,99, 2,89 y 2,51 Å, las de augita a 2,99, 2,95, 2,56, 2,51, 2,30, 2,20, 2,13, 2,02 y 1,62 Å y las del cuarzo a 4,27, 3,33

y 1,81 Å, cuyo contenido disminuye con la profundidad. En los suelos desarrollados sobre coladas basálticas aparecen las reflexiones de la hematita a 2,70, 2,20 y 1,69 Å.

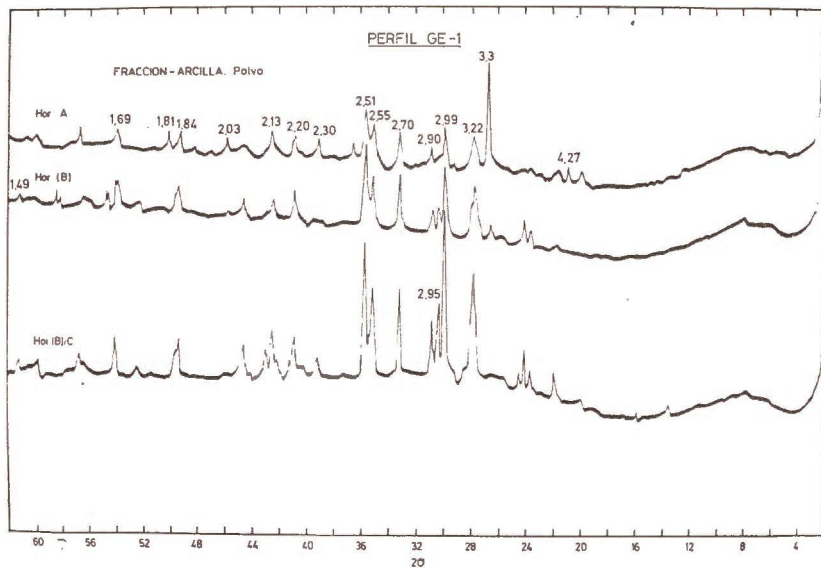


Fig. 1.—Diagramas de difracción de rayos X de la fracción arcilla (método de polvo).

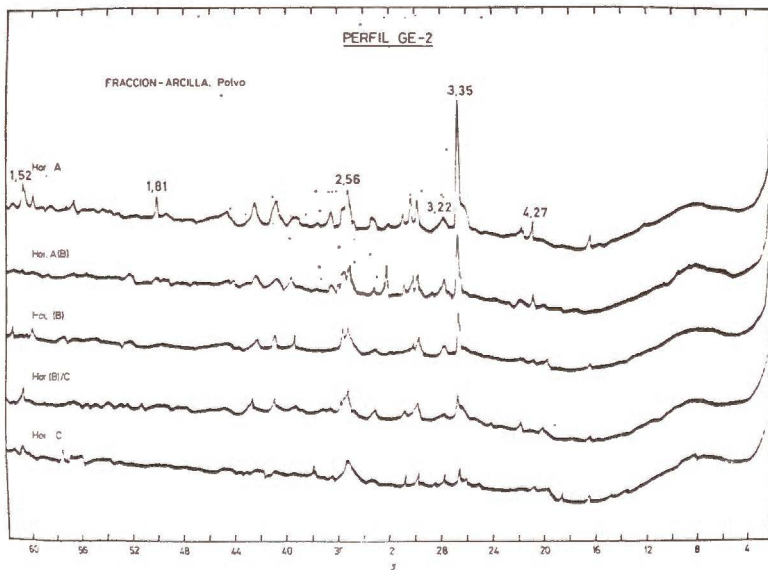


Fig. 2.—Diagramas de difracción de rayos X de la fracción arcilla (método de polvo).

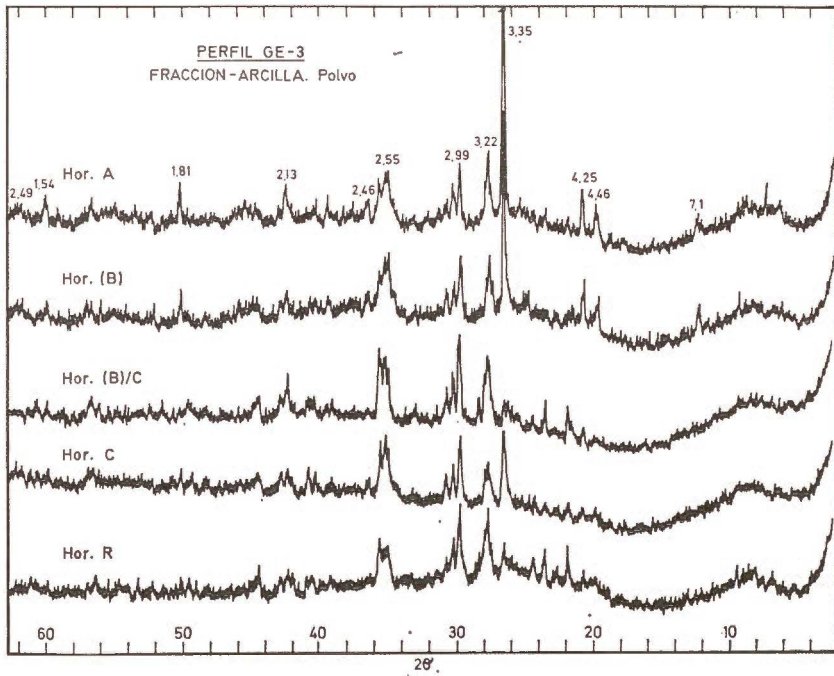


Fig. 3.—Diagramas de difracción de rayos X de la fracción arcilla (método de polvo).

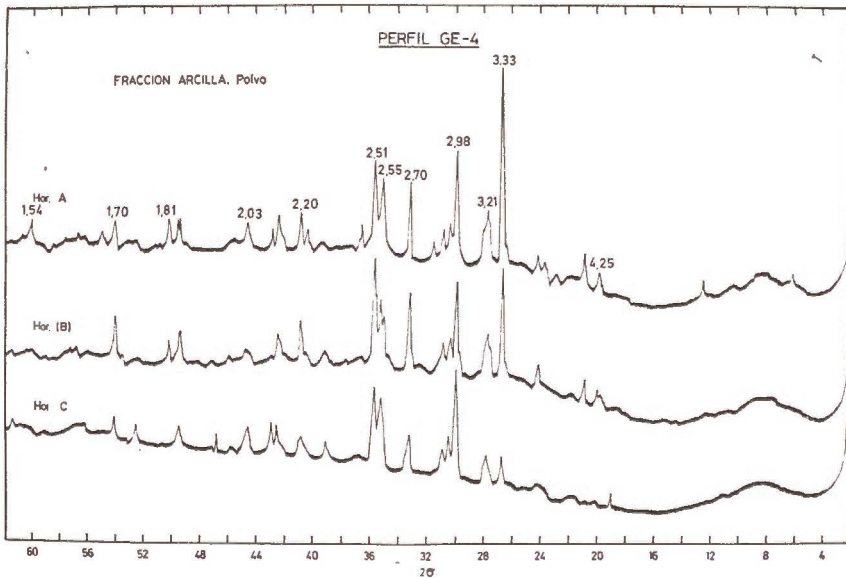


Fig. 4.—Diagramas de difracción de rayos X de la fracción arcilla (método de polvo).

En la figura 5 está representado el diagrama de difracción de rayos X por el método de polvo de la fracción menor de 2 mm. del horizonte C del perfil GE-1, en el que se observa la presencia de feldspatos, augita, hematita y goetita. Este último mineral también se ha encontrado en los horizontes superiores del perfil GE-3.

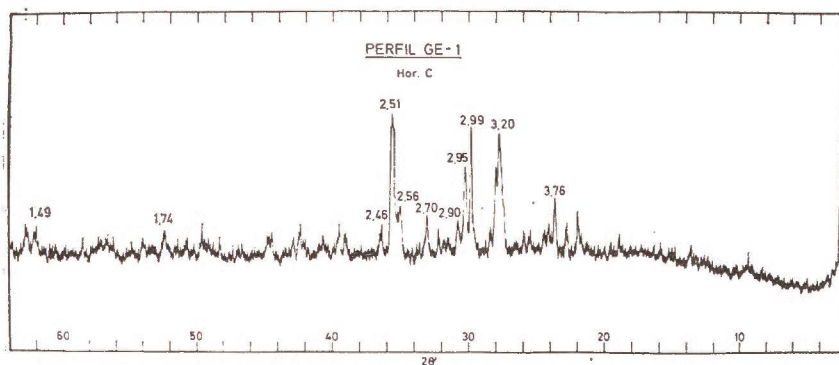


Fig. 5.—Diagrama de difracción de rayos X de la fracción menor de 2 mm. (método de polvo).

Respecto a las reflexiones (060) de los minerales de la arcilla, se observa en los horizontes superiores un pico a 1,49 Å, debido a la existencia de minerales dioctaédricos, sin embargo no se puede confirmar la presencia de minerales trioctaédricos por el pico a 1,53 Å, ya que coincide con uno de la augita.

Entre los difractogramas realizados de las muestras homoiónicas (K y Mg), destacamos por su interés los que se encuentran representados en las figuras comprendidas entre la 6 y la 13, ambas inclusive. En ellos se pone de manifiesto las reflexiones (001) de los minerales de la arcilla, ausentes en los diagramas de polvo, observándose la presencia de minerales caoliniticos y micáceos, así como minerales con reflexiones basales a 14 Å.

A 7,1 y 3,59 Å aparecen las reflexiones características de los minerales caoliniticos que desaparecen con el calentamiento a 550° C, debido a la pérdida de los OH de la capa octaédrica. Cuando se solvatan las muestras con hidracina, la reflexión a 7,1 Å se desplaza a 11,04 Å (Wada y Yamada, 1968). Por la ausencia de la reflexión a 7,11 Å en el diagrama de polvo, pensamos que el mineral caolinitico existente es caolinita, ya que la haloisita por su morfología tubular no tiene que presentar una orientación preferencial en el agregado orientado.

La presencia de minerales del grupo de la mica se pone de manifiesto por las reflexiones a 10,1, 5,01, 4,46 y 3,36 Å, que no desaparecen con los tratamientos térmicos. La reflexión basal a 10,1 Å hace pensar en un mineral íltico, ya que la moscovita la presenta a 9,9 Å y la biotita no presenta la reflexión (002) a 5,0 Å.

De los minerales denominados 14 Å, encontramos en todos los per-

files clorita en mayor o menor proporción, que ha sido identificada por los picos a 14,2, 7,13, 4,7 y 3,51 Å. Las reflexiones (002) (003) y (004) van desapareciendo con los distintos tratamientos térmicos, mientras que la (001) pierde intensidad a 300° C para luego volver a aumentar. Brindley y Ali (1950) estudiaron los cambios que se produ-

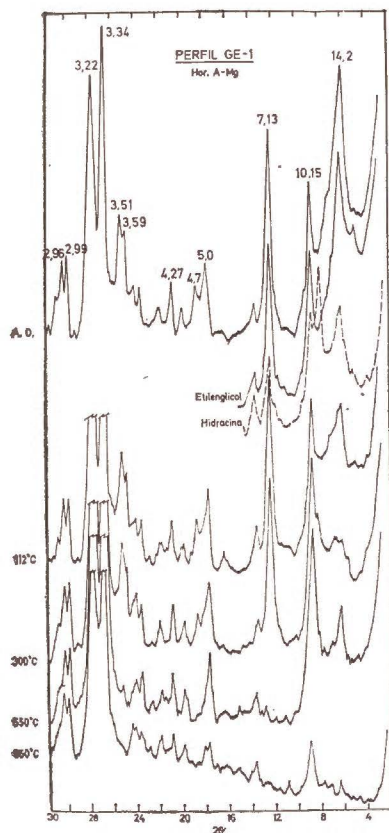


Fig. 6.—Diagramas de difracción de rayos X de la fracción arcilla (método del agregado orientado).

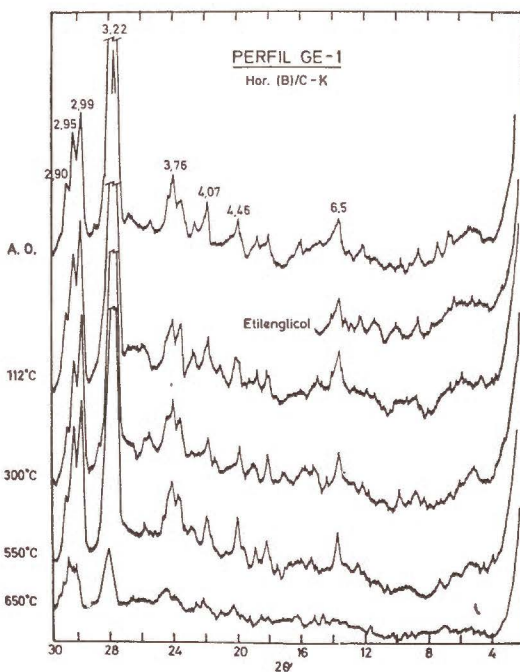


Fig. 7.—Diagramas de difracción de rayos X de la fracción arcilla (método del agregado orientado).

cen en algunas cloritas cuando se calientan a diversas temperaturas, encontrando que entre 400 y 700° C las intensidades de las reflexiones (001) varían, siendo estos cambios debidos a modificaciones en la capa de hidróxido interlamina, aunque hasta 700° C no se pierden los OH de dicha capa. Nuestras observaciones indican que en algunas muestras a 650° C la reflexión (001) desaparece; esto podría ser debido a una menor cristalinidad de las cloritas encontradas en nuestras muestras que en las estudiadas por estos autores. Por esta causa también se puede explicar que las intensidades empiecen a variar a partir de una temperatura más baja (300° C).

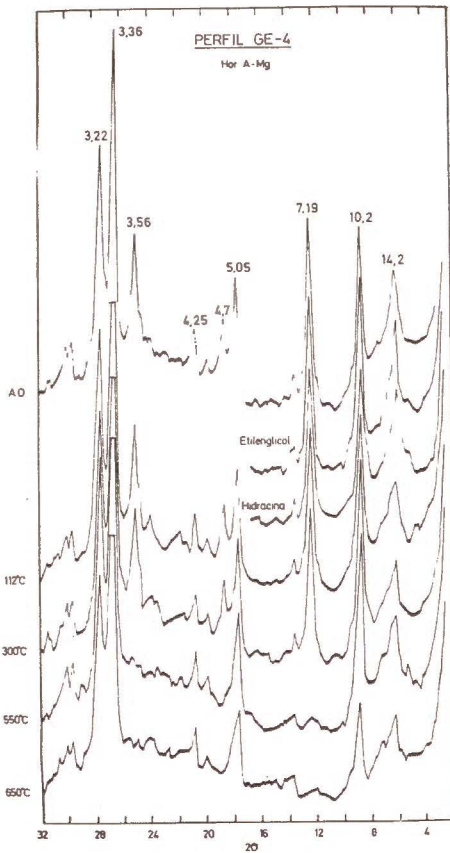


Fig. 8.—Diagramas de difracción de rayos X de la fracción arcilla (método del agregado orientado).

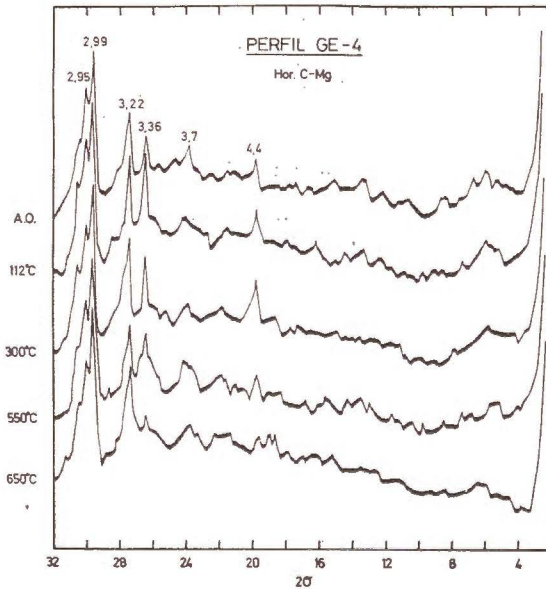


Fig. 9.—Diagramas de difracción de rayos X de la fracción arcilla (método del agregado orientado).

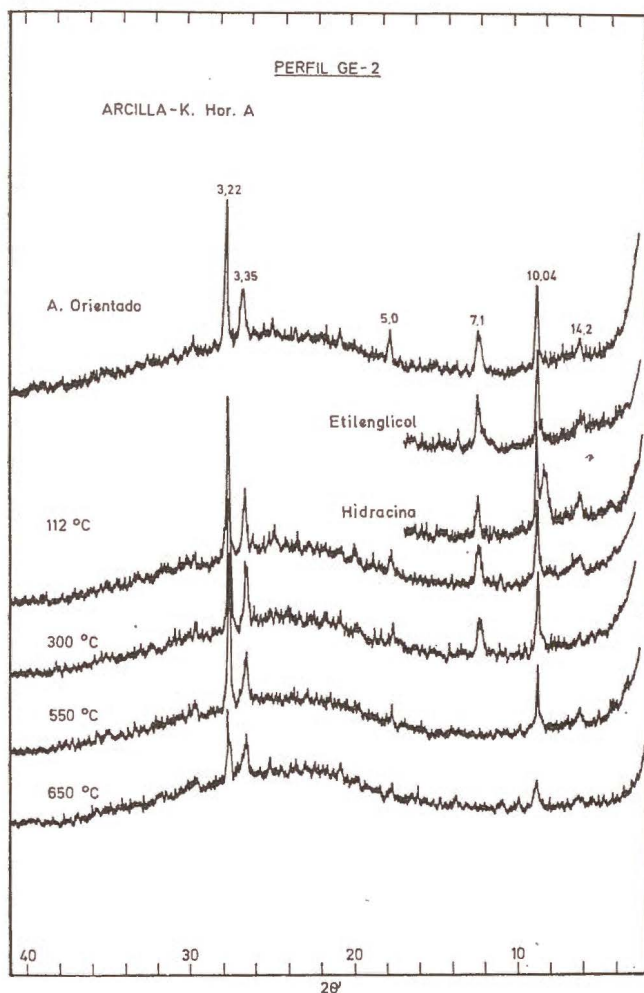


Fig. 10.—Diagramas de difracción de rayos X de la fracción arcilla (método del agregado orientado).

En los horizontes superficiales de los suelos desarrollados sobre basaltos se ha encontrado vermiculita, que se pone de manifiesto debido a que la intensidad del pico a 10 Å es mayor en las muestras saturadas con potasio que con magnesio. Este hecho se produce ya que el espaciado basal de la vermiculita varía con la naturaleza del catión interlaminar, así la vermiculita Mg presenta su reflexión (001) a 14,3 Å, mientras que la potásica lo tiene a 10,4 Å. Asimismo, se observa un aumento del pico a 10 Å cuando la muestra Mg se calienta a 300° C, y que es debido al colapsamiento producido por la pérdida del agua unida al catión interlaminar.

En el horizonte A del perfil GE-1 se observa la presencia de montmorillonita, ya que al solvatar la muestra con etilenglicol, aparecen un pequeño pico a 17,7 Å, debido a la introducción de las moléculas de este compuesto entre las láminas del mineral.

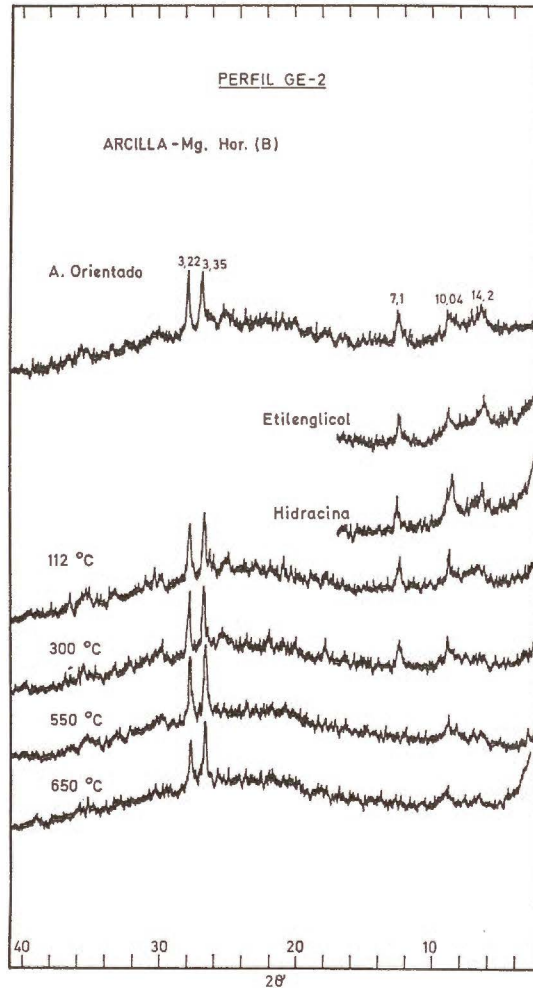


Fig. 11.—Diagramas de difracción de rayos X de la fracción arcilla (método del agregado orientado).

En todos los perfiles se ha observado que el contenido y cristalinidad de los minerales de la arcilla disminuye con la profundidad. La presencia de minerales alofánicos se pone de manifiesto por las bandas entre 4 y 8°, así como entre 13 y 37°, que aumentan con la profundidad.

En estos diagramas se siguen identificando los minerales primarios feldespatos, augita y cuarzo, disminuyendo el contenido de este último con la profundidad.

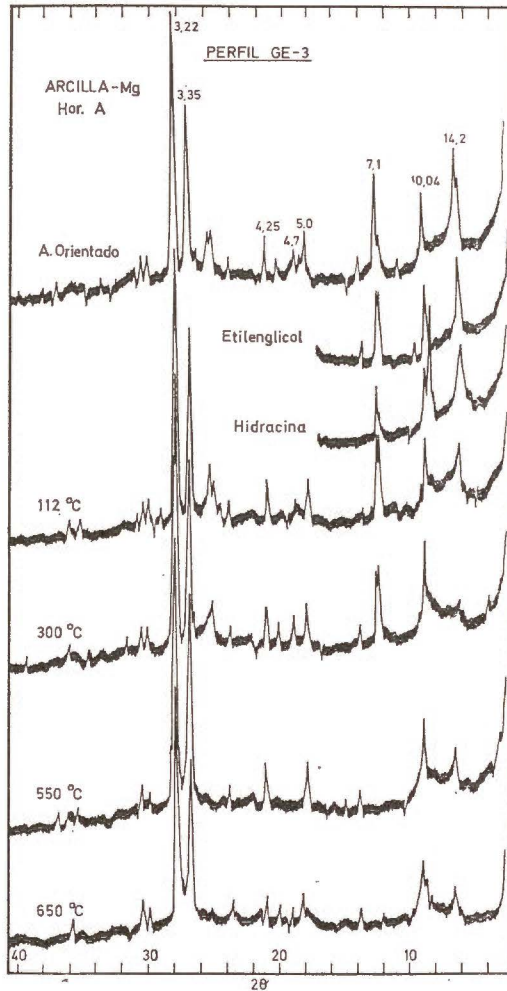


Fig. 12.—Diagramas de difracción de rayos X de la fracción arcilla (método del agregado orientado).

Espectroscopia de absorción infrarroja

Los espectros de absorción infrarroja, de los cuatro perfiles aquí estudiados, se encuentran representados en las gráficas 14, 15, 16 y 17. Se han realizado en las muestras libres de materia orgánica y de geles amorfos.

En la región del espectro comprendida entre 3.800 y 3.300 cm^{-1} , es donde aparecen las bandas debidas a las vibraciones de tensión de los grupos OH de los silicatos, así como las del agua interlaminar que contienen estos minerales. En esta zona se observan tres bandas a 3.690 ,

3.650 y 3.620 cm^{-1} , que según Serratosa y col. (1962) son debidas la primera a las vibraciones de los grupos OH perpendiculares a la lámina de los minerales caoliníticos, la segunda a los OH que participan en los enlaces por puentes de hidrógeno y la tercera a los OH dirigidos a los espacios octaédricos sin ocupar, por lo que sólo la darán los minerales dioctaédricos. Las intensidades de estas bandas disminuyen con la profundidad, sin embargo el caso contrario ocurre en la banda de agua a 3.430 cm^{-1} , que atribuimos a un aumento del material alofónico con la profundidad.

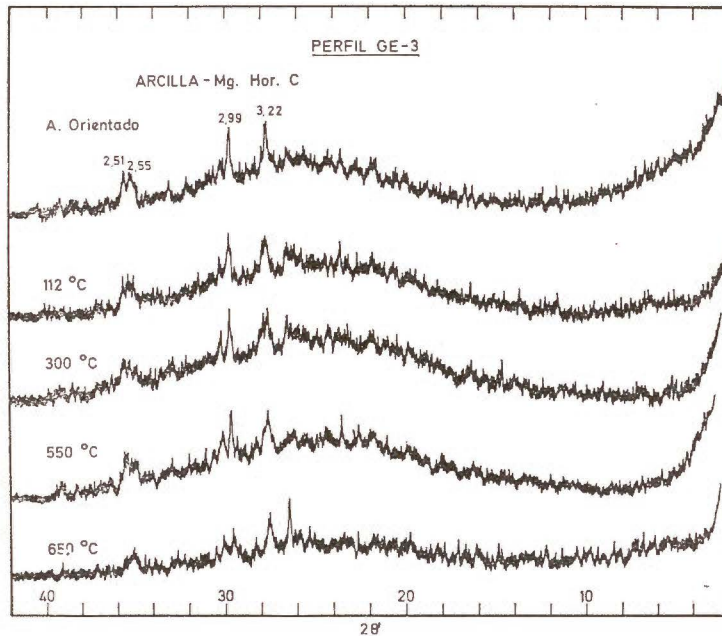


Fig. 13.—Diagramas de difracción de rayos X de la fracción arcilla (método del agregado orientado).

A 1.090, 1.030 y 1.000 cm^{-1} aparecen unas bandas debidas a las vibraciones de tensión Si-O de los minerales caoliníticos, que se van ensanchando y perdiendo nitidez hasta convertirse en una sola banda con máximo a 1.035-1.025 cm^{-1} , según se profundiza en el perfil. Esto nos indica que la red de los minerales caoliníticos está más desorganizada según aumenta la profundidad.

Las vibraciones de los filosilicatos aparecen a 910 cm^{-1} , estando el aluminio en posición octaédrica. Cuando este catión se sustituye por magnesio o hierro, la banda se desplaza a menores frecuencias, así cuando se sustituye por hierro aparece a 890 cm^{-1} y si es magnesio a 840 cm^{-1} .

La banda debida a la vibración Si-O-Al se presenta a 535 cm^{-1} , y las bandas de deformación Si-O a 465-470 cm^{-1} y 432 cm^{-1} . Estas tres

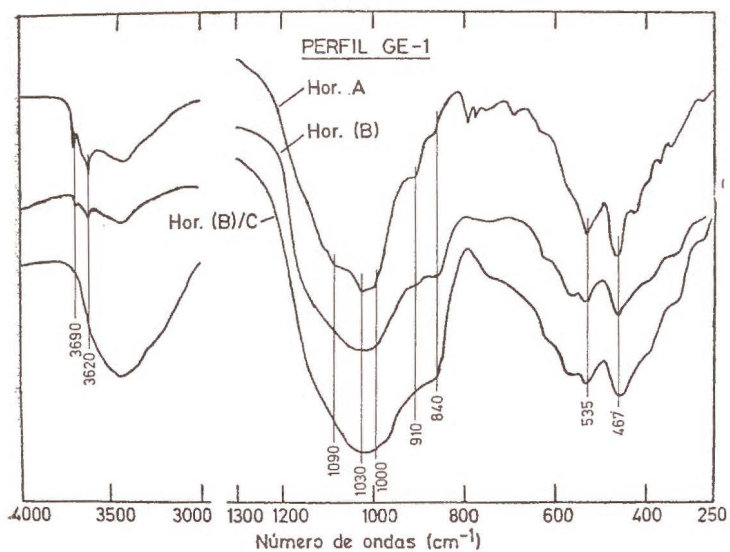


Fig. 14.—Espectros de absorción infrarroja de la fracción arcilla.

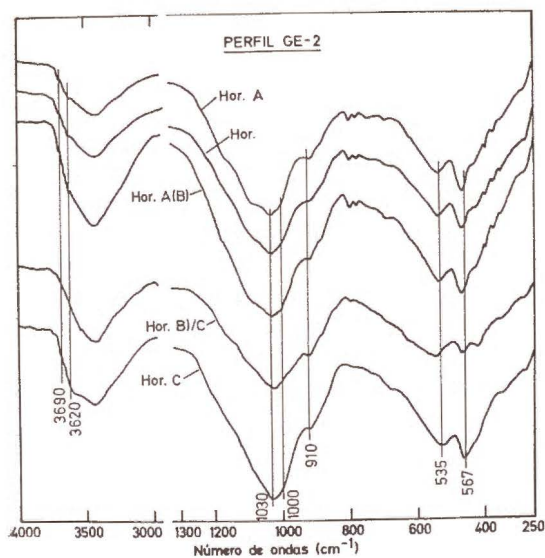


Fig. 15.—Espectros de absorción infrarroja de la fracción arcilla.

bandas aparecen a estas frecuencias, cuando los silicatos son aluminicos (Stubican y Roy, 1961).

En los horizontes superficiales de estos perfiles se observa la existencia de cuarzo por el doblete a 798 y 778 cm^{-1} .

En el horizonte C del perfil GE-4 aparecen unas bandas a 1.050, 970, 910 y 880 cm^{-1} , que han sido asignadas a la augita.

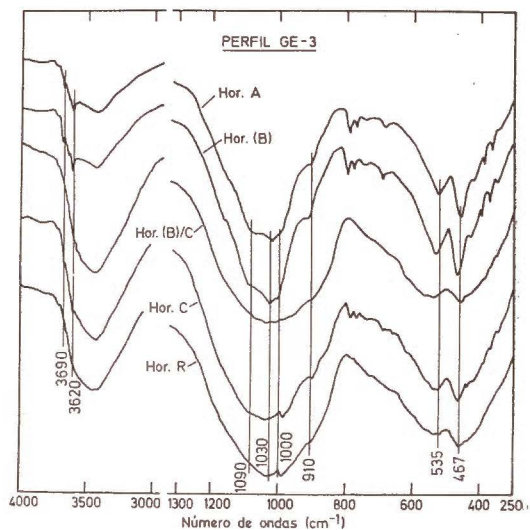


Fig. 16.—Espectros de absorción infrarroja de la fracción arcilla.

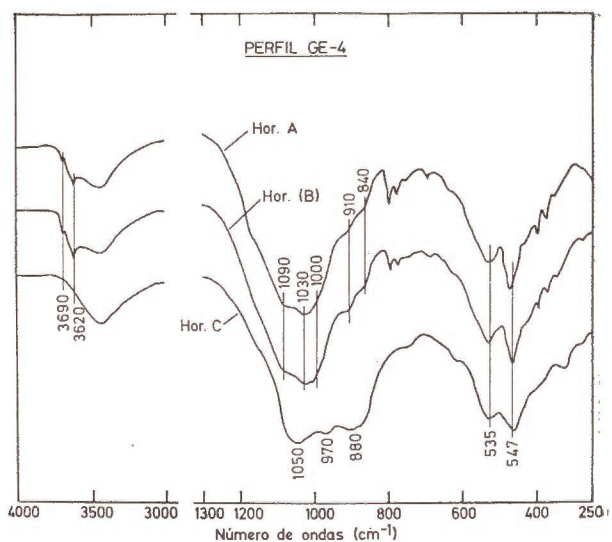


Fig. 17.—Espectros de absorción infrarroja de la fracción arcilla.

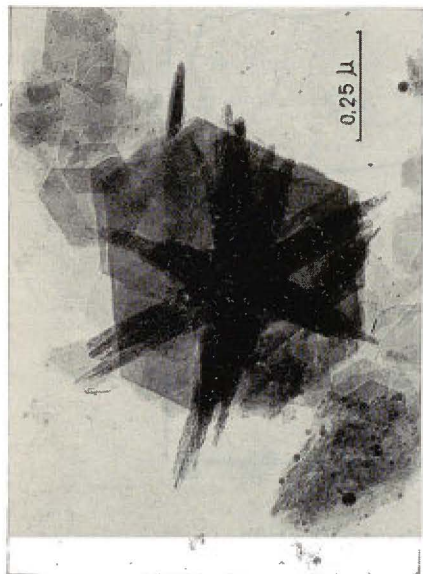
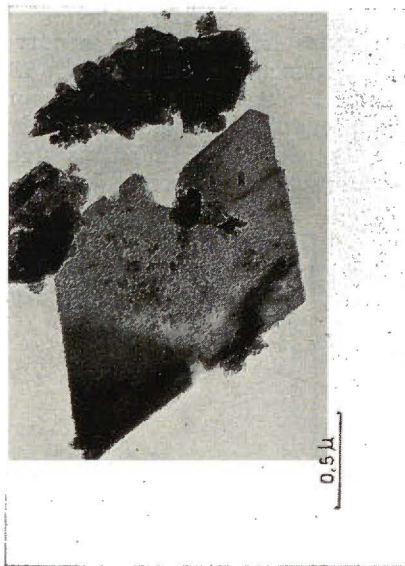


Fig. 18.—Microfotografía de la fracción arcilla,

Microscopía electrónica

Algunas microfotografías correspondientes al estudio de estos perfiles se encuentran en la figura 18.

En estas muestras se observan cristales de caolinita con su morfología pseudohexagonal. La haloisita tubular aparece en algunos horizontes superficiales, mientras que la glomerular solo se presenta en algunos horizontes profundos y en muy pequeña proporción.

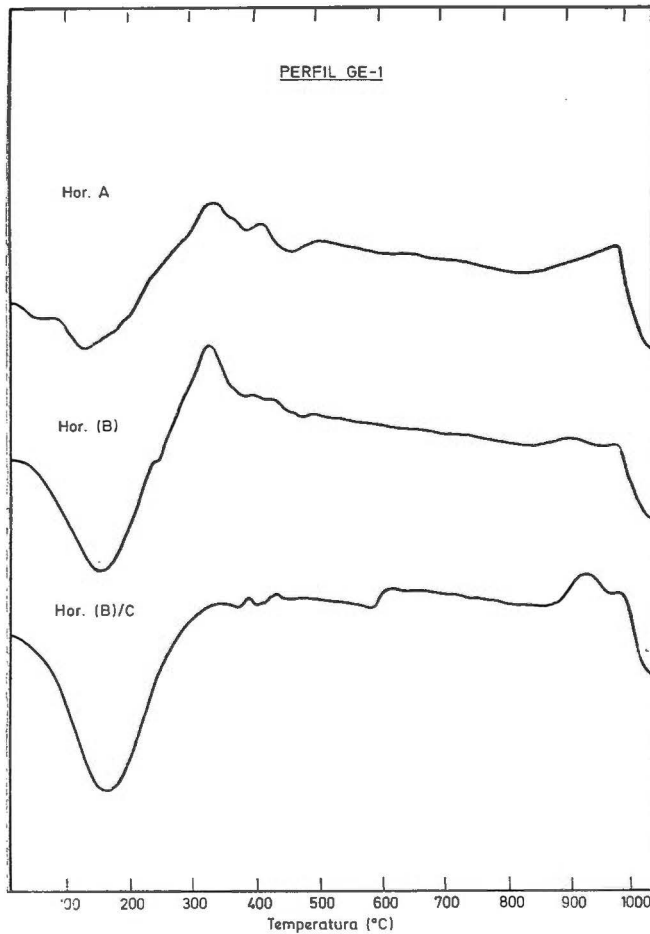


Fig. 19.—Curvas de A. T. D. de la fracción arcilla.

Se observa también la existencia de augita, feldespatos, mica, clorita y vidrios volcánicos. Estos últimos se han encontrado en mayor proporción en los perfiles cuyo material originario son cenizas volcánicas.

En algunas microfotografías se puede apreciar unas masas irregulares de pequeñas esferas salpicadas con gránulos oscuros, que se han identificado como correspondientes a alofán, siguiendo los trabajos de Birrel y Fieldes (1952), Aomine y Yoshinaga (1955), Sudo y Tokahashi (1955), Aomine y Wada (1962), Alonso y col. (1963), Colmet-Daage y col. (1967) y Kitagawa (1971).

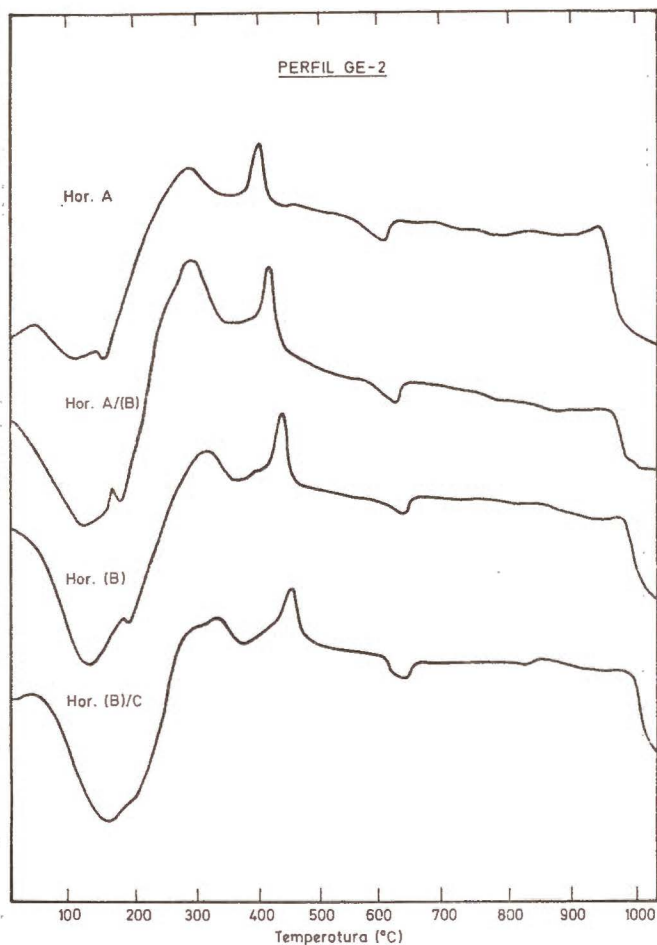


Fig. 20.—Curvas de A. T. D. de la fracción arcilla.

Análisis térmico diferencial

Los termogramas realizados de los distintos horizontes de los cuatro perfiles de Olot (Gerona) se encuentran representados en las figuras comprendidas entre la 19 y la 22, ambas inclusive.

En todas las muestras encontramos un pico exotérmico muy ancho

a 330° C, que asignamos a la materia orgánica, que por estar más fuertemente unida a los geles amorfos o al material alofánico no ha sido destruida por los tratamientos, que previamente al análisis de las muestras se realizaron con agua oxigenada (Yoshinaga y Aomine, 1962; Vizcayno y col., 1977 b). Este pico disminuye en anchura e intensidad según aumenta la profundidad.

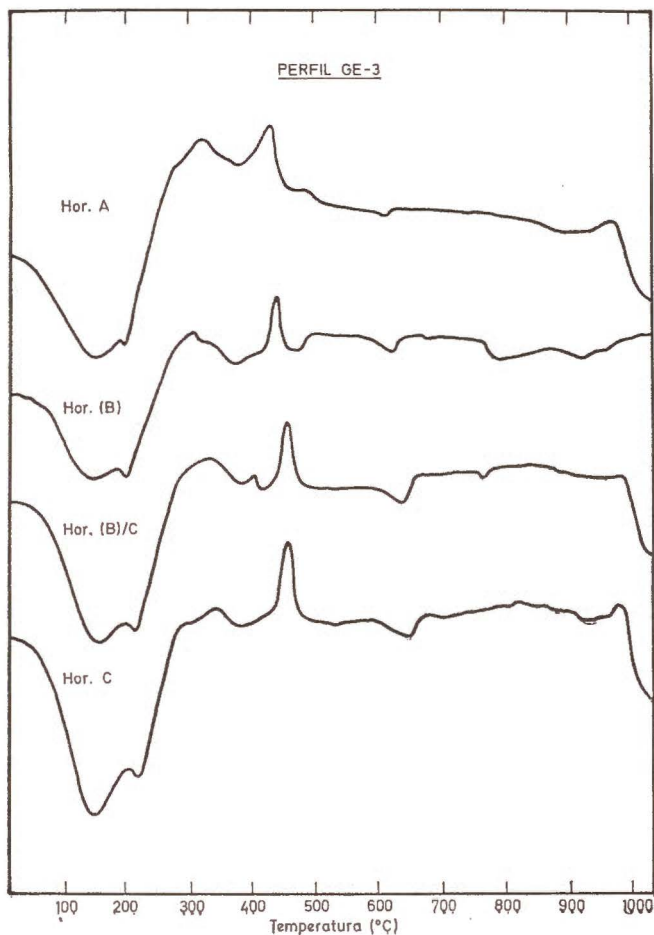


Fig. 21.—Curvas de A. T. D. de la fracción arcilla.

En todos los perfiles, excepto en el GE-1, se observa la existencia de un pico exotérmico entre 430-450° C, que según los trabajos de Mackenzie (1970) se ha asignado a la presencia de óxidos de hierro. Este autor utilizando mezclas sintéticas comprobó que este efecto era debido a la existencia de β o γ FeOOH o a geles de óxidos férricos que a esta temperatura se transforman en α Fe₂O₃. La temperatura exacta a la que se produce el pico depende del pH de la suspensión y

de la temperatura de precipitación a la que se formaron estos óxidos. La edad de los geles en la naturaleza está afectada por la materia orgánica y la sílice, que actúan como protectores coloidales interfiriendo la cristalización (Schwertmann, 1966).

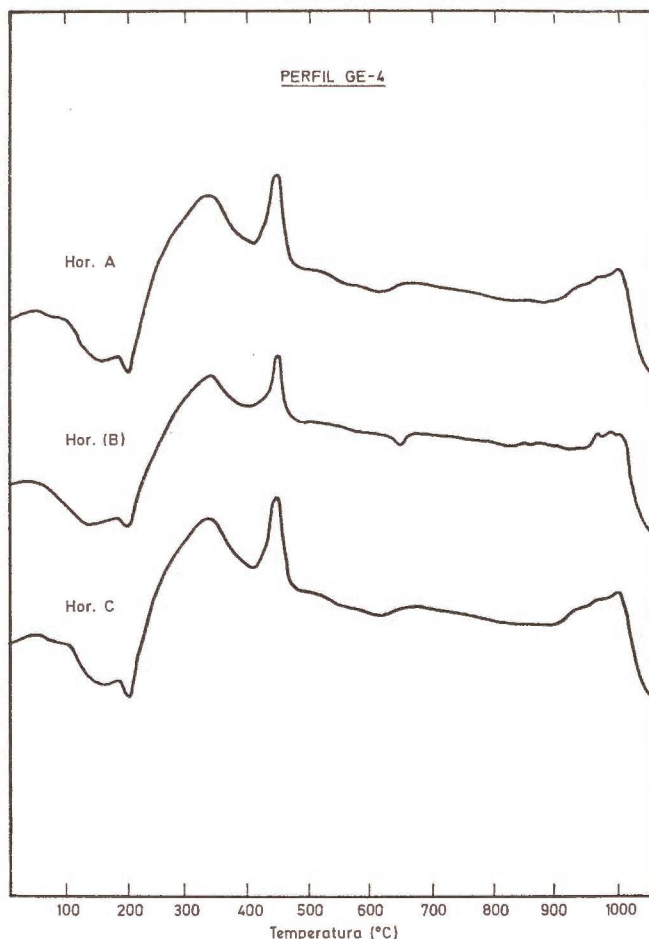


Fig. 22.—Curvas de A. T. D. de la fracción arcilla.

En estas muestras encontramos dos efectos endotérmicos, uno hacia 150° C y otro hacia 200° C, que nos indican la existencia de dos tipos de agua; la primera es la adsorbida entre las láminas de los silicatos o asociada a los productos amorfos, la segunda es la retenida por los cationes. El efecto a 150° C es muy intenso y aumenta con la profundidad, lo que nos sugiere la presencia de materiales alofánicos, los cuales tienen un gran poder de retención de agua.

En casi todas las muestras aparece un efecto endotérmico a 640° C,

que atribuimos a deshidroxilaciones de la red cristalina de los minerales a 14 Å.

DISCUSIÓN

En el estudio de estos cuatro perfiles de la región volcánica de Olot (Gerona) no se han puesto de manifiesto diferencias entre los minerales primarios encontrados en la fracción arcilla. Debido a que el contenido de cuarzo disminuye con la profundidad, y a que no se ha encontrado en la roca madre por ser un mineral no común en estos suelos, pensamos que procede de aportes de zonas próximas, como ya ha sido señalado por Bech Borrás y col. (1976).

Como minerales del grupo del caolín, encontramos en todos los perfiles caolinita bien cristalizada y en bastante proporción, junto con indicios de haloisita tubular y glomerular, apareciendo esta última solo en algunos de los horizontes profundos.

La presencia de haloisita tubular y glomerular sugiere la posibilidad de la génesis de la caolinita, por intermedio de estos minerales según la secuencia



dada por Ross y Kerr (1934), Alexander y col. (1943), Bates y Comer (1955, 1959), Fieldes (1955), Kovalew y Dyakonow (1959), Dritsch y Kashaev (1960) y Besoain (1974).

Numerosos autores han descrito la formación de caolinita a partir de minerales primarios, fundamentalmente feldespatos en curso de alteración. Tardy, en 1969, piensa en la posibilidad de que la salida de soluciones del seno de algunas plagioclasas, sea tal que cree una concentración en sílice favorable a la síntesis de la caolinita. El pH poco ácido, la escasa concentración en bases, la ausencia de sustancias orgánicas susceptibles de complejar el aluminio y de mantenerlo en forma de gel, podría entonces favorecer un paso rápido del aluminio al estado hexacoordinado y hacer posible la formación de caolinita. Este mecanismo permite concebir la transformación, con la conservación de la forma, de un cierto número de plagioclasas y otros minerales primarios en caolinita. La microfauna y la flora, diseminarán las plaquetas de caolinita así formada.

Por otra parte, los minerales del grupo del caolín pueden tener su origen a partir de los complejos húmico-alofánicos y de la sílice en solución, que puede proceder bien de la alteración de los minerales primarios o de las diatomeas (Sieffermann, 1969). Los aluminios más lábiles de estos complejos pueden pasar fácilmente al estado hexacoordinado. Wey y Siffert (1961) sintetizaron caolinita, partiendo del aluminio liberado lentamente en el curso de la degradación de la parte orgánica de los complejos húmicos-alofánicos y de la sílice de las soluciones. En los suelos sometidos a gran pluviosidad, las concentraciones de sílice necesarias para la formación de caolinita sólo se puede encontrar partiendo de la sílice de las diatomeas, que precisamente en los horizontes superiores se encuentran en contacto directo con los comple-

jos alofánicos, lo que explicaría la acumulación que de caolinita se encuentra en ellos. Debido a la desaturación del medio, el crecimiento de los cristales es regular, presentando poco desorden estructural.

En los cuatro perfiles estudiados encontramos la presencia de clorita cuyo contenido disminuye con la profundidad. La existencia de este mineral ha sido a menudo puesta de manifiesto en suelos muy evolucionados, como el último mineral de la alteración de los ferromagnesianos, según las secuencias:



Piroxenos → Clorita-Mg → Montmorillonita → Interestratificados → Clorita-Al.

El primer mecanismo de formación no parece posible en nuestro caso, ya que no se aprecia la existencia de los minerales intermedios montmorillonita y vermiculita en los horizontes B de los suelos desarrollados sobre coladas basálticas. Debido a que la clorita presente en nuestras muestras es magnésica, ya que se destruye en solución caliente de ClH 1 N (Kawasaki y Aomine, 1966), se podría pensar en su formación siguiendo el segundo mecanismo. Esto sería factible en los suelos desarrollados sobre coladas basálticas, ya que los minerales primarios existentes en la fracción arena se encuentran bastantes alterados. Sin embargo, en los suelos cuyo material originario son cenizas volcánicas, parece poco posible este proceso, debido a que el olivino y la augita encontrados en la fracción arena presentan pocos signos de alteración.

La clorita no parece que se haya producido en una neoformación hidrotermal durante la emanación volcánica, ya que su contenido disminuye con la profundidad.

Por todas estas consideraciones y debido a que los perfiles se encuentran muy cercanos, pensamos que la clorita proviene, así como el cuarzo, de aportes de zonas próximas.

Los suelos desarrollados sobre cenizas volcánicas son de más joven formación que los desarrollados sobre basaltos, como se desprende de las siguientes consideraciones sacadas de este trabajo y de otro anterior (Vizcayno y col., 1977 c):

Los minerales primarios existentes en la fracción arena (augita y olivino) presentan menos signos de alteración en los suelos desarrollados sobre cenizas volcánicas.

La razón ácidos fúlvicos/ácidos húmicos es inferior en los suelos cuyo material originario son coladas basálticas, lo que indica una mayor polimerización de la materia orgánica humificada.

La cristalinidad de los minerales de la arcilla es superior en los suelos desarrollados sobre coladas basálticas.

Los suelos cuyo material originario son cenizas volcánicas presentan un contenido mayor en vidrios volcánicos.

En los suelos desarrollados sobre coladas basálticas se encuentra hematita que indica un grado mayor de evolución de estos suelos.

Agradecimiento

Deseamos expresar nuestro agradecimiento al Dr. J. Galván, por el estudio de las muestras con el microscopio electrónico.

RESUMEN

Se estudian las características mineralógicas de la fracción arcilla de cuatro perfiles, desarrollados sobre coladas basálticas y cenizas volcánicas de la región de Olot, en Gerona.

La identificación mineralógica se ha realizado utilizando las técnicas de difracción de rayos X, espectroscopía de absorción infrarroja, microscopía electrónica y análisis térmico diferencial.

Se ha observado la presencia de alofán, minerales caolíníticos (principalmente caolinita), clorita, minerales micáceos y en algunos casos montmorillonita y vermiculita. Como minerales primarios cuarzo, feldespato y augita.

Los suelos desarrollados sobre coladas basálticas están más evolucionados que los formados sobre cenizas volcánicas, por lo que se concluye que estos últimos son de más joven formación.

Instituto de Edafología y Biología Vegetal. Madrid.

BIBLIOGRAFÍA

- ALEXANDER, L. T., FAUST, G. T., HENDRICKS, S. B., INSLEY, H., MC MURDIE, H. F. (1943). Relationship of the clay minerals halloysite and endellite. *Amer. Miner.*, **28**, 1-18.
- ALONSO, J., BESOAIN, E., CATALINA, F. (1963). Observations de microscopie electronique en argiles volcaniques de Chili et allophanes de la Nouvelle Zelande. *Int. Clay Conf. Stockholm*, **1**, 167-173.
- AOMINE, S., WADA, K. (1962). Differential weathering of volcanic ash and pumice resulting in formation of hydrated halloysite. *Amer. Miner.*, **47**, 1024-1048.
- AOMINE, S., YOSHINAGA, N. (1955). Clay minerals of some well drained volcanic ash soils in Japan. *Soil Sci.*, **79**, 349-357.
- BATES, TH. F., COMER, J. J. (1955). Electron microscopy of clay surface. *Proc. 3th Nat. Conf. Clays and Clay Minerals*, 1-25.
- BATES, TH. F., COMER, J. J. (1959). Further observations on the morphology of chrysotile and halloysite. *Proc. 6th Nat. Conf. Clays and Clay Minerals*, 237-248.
- BECH BORRÁS, J., QUANTIN, P., SEGALÉN, P. (1976). Andolos d'Olot (Espagne). *Cah. O. R. S. T. O. M., sér. Pédol.*, **XIV**, 95-111.
- BESOAIN, E. (1974). Consideraciones generales sobre la formación de minerales secundarios en los Andosuelos. Esquema de una secuencia de meteorización de las cenizas volcánicas. *Anal. Edaf.*, **XXXIII**, 343-357.
- BIRREL, K. S., FIELDS, M. (1952). Allophane in volcanic ash soils. *J. Soil Sci.*, **3**, 156-166.
- BRINDLEY, G. W., ALI, S. Z. (1950). Thermal transformations in magnesium chlorites. *Acta Cryst.*, **3**, 25-30.
- COLMET-DAAGE, F., CUCALON, F., DELAUNE, M., GAUTHEROU, J. M., MOREAGU, B. (1967). Caracteristiques de quelques sols d'Ecuateur derives de Cendres volcaniques. I. Essai de caracterisation des sols des regions tropicales. *Cah. O. R. S. T. O. M., sér. Pédol.*, **5**, 3-38.

- DRITS, V. A., KASHAEC, A. L. (1960). On structure peculiarities of kaolinite. Rep. Meeting Inter. Comm. Stud. Clay Moscow, 18-19.
- FIELDS, M. (1955). Allophane and related mineral colloids. N. Z. J. Sci. Tech., B 37, 336-350.
- GARCÍA VICENTE, J. (1951). Estructura cristalina de los minerales de la arcilla. Mono grafías de Ciencia Moderna, 30.
- HASHIMOTO, I., JACKSON, M. L. (1960). Rapid dissolution of allophane and kaolinite-halloysite after dehydration. Clays and Clay Minerals Proc. 7th Nat. Conf., 102-113.
- HIDALGO, A., SERRATOSA, J. M. (1955). Espectros de absorción infrarroja de minerales de la arcilla obtenidos mediante la técnica de comprimidos de BrK. Anal. Edaf., XIV, 269-292.
- JACKSON, M. L. (1956). Soil Chemical Analysis. Madison.
- KAWASAKI, H., AOMINE, S. (1966). So-called 14 Å clay minerals in some Ando Soils. Soil Sci. Plant Nutr., 12, 144-149.
- KITAGAWA, Y. (1971). The unit particle of allophane. Amer. Miner., 56, 465-475.
- KOVALEW, G. A., DYAKONOW, S. (1959). X-ray study of the kaolinite group of clay minerals. Mem. All. Un. Mineral Soc., 88, 467-473.
- MACKENZIE, K. J. D. (1970). Differential thermal analysis. Academic Press., London and New York.
- MEHRA, O. P., JACKSON, M. L. (1960). Iron oxide removal soil clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. Clays and Clay Minerals, 5, 317-327.
- PEDRO, G. (1968). Note sur le type d'altération superficielle caractérisant les projections volcaniques récentes du Puy de la Vache. Bull. A. F. E. S., 3, 17-20.
- ROSS, C. S., KERR, P. F. (1934). Halloysite and allophane. Prof. Paper, 185-G, U. S. Geol. Survey, 135-148.
- SCHWERTMANN, U. (1966). Inhibitory effect of soil organic on the crystallization of amorphous ferric hydroxide. Nature, 212, 645-646.
- SERRATOSA, J. M., HIDALGO, A., VIÑAS, J. M. (1962). Orientation of OH bonds in kaolinite. Nature, 195, 486-487.
- SHOJI, S., MASUI, J. (1969). Amorphous clay minerals of recent volcanic ashes soils in Hokkaido. Soil Sci. Plant Nutr., 15, 161-168 y 191-201.
- SIEFFERMANN, G. (1969). Les sols de quelques régions volcaniques du Cameroun. These.
- STUBICAN, V., ROY, R. (1961). Isomorphous substitution and infrared of the layer lattice silicates. Amer. Miner., 46, 32-51.
- SUDO, T., TAKAHASHI, H. (1955). Shapes of halloysite particles in Japanese clays. Clays and Clay Minerals. 4th Nat. Conf., 67-69.
- TARDY, Y. (1969). Géochimie des alterations, étude des arènes et des eaux des quelques massifs cristallins d'Europe et d'Afrique. Mem. Serv. Carte Geol. Als-Lorr., 31.
- TRICHER, J. (1970). Contribution à l'étude de l'altération expérimentale des verres volcaniques. These Sci. Nat., Paris.
- VIZCAYNO, C., GARCÍA GONZÁLEZ, M. T., GARCÍA VICENTE, J. (1978). Suelos volcánicos españoles. II. Anal. Edaf., 37, 1035.
- VIZCAYNO, C., GARCÍA VICENTE, J., GARCÍA GONZÁLEZ, M. T. (1979). Suelos volcánicos españoles. III. Anal. Edaf., 38, 7.
- WADA, K., YAMADA, Y. (1968). Hydrazine intercalation-intersalation for differentiation of kaolin minerals from chlorites. Amer. Miner., 53, 334-339.
- WEY, R., SIEFFERT, B. (1961). Reactions de la silice monomoléculaire en solution avec les ions Al^{+3} et Mg^{+2} . Genèse et synthèse des argiles. Coll. Inter. C. N. R. S., 105, 11-23.
- YOSHINAGA, N., AOMINE, S. (1962). Allophane in some Ando soils. Soil Sci. Plant Nutr., 8, 6-13.

Recibido para publicación: 13-VI-77

SUELOS DEL NORTE DE LA SIERRA DE FRANCIA

por

J. F. GALLARDO y J. A. EGIDO

SUMMARY

SOILS OF THE NORTH SLOPE OF THE SIERRA DE FRANCIA

The soils distribution in the North slope of «Sierra de Francia», has been studied.

There is one catena of soils: podsollic soils, cambisols and acrisols, from the top to the low zone. The youngest ones are the podsollic soils, and acrisols are the oldest ones, (peleosoils). These groups of soils are associated with a differents morphological surfaces.

The strong weathering of paleozoic bassament was observated; this basament as relic.

1. INTRODUCCIÓN

La zona de estudio se encuentra delimitada entre la Sierra de Francia al Sur, el Sinclinal de Tamames al NE y la llanura rañoide al NW, ofreciendo un gran interés edáfico, ya que en pocos km. existe una diversidad geológica evidente: con ello los suelos que se desarrollan sobre dichos materiales se diferencian no sólo según el material de partida, sino en el grado de evolución, ya que las formaciones geológicas pertenecen a edades diferentes.

En este trabajo se pretende estudiar los diferentes tipos de perfiles que se presentan en la zona, así como el de establecer relaciones con las diferentes características geológicas y geomorfológicas, con el fin de justificar la diferente evolución de los suelos.

2. GEOLOGÍA

Tanto la hoja geológica de Kindelan (1957) como la «Memoria de la Reunión sobre los suelos del Centro-Oeste de España» (1974), establecen las siguientes formaciones:

Cámbrico

Material que se encuentra por debajo de la Cuarcita armoricana ; su diferenciación es difícil, debido a la complejidad tectónica y al metamorfismo que les afecta ; en la zona de estudio aparece debajo de las superficies de erosión, formando las paredes de los valles fluviales, dado que el aluvial no tiene gran representación. Comprende pizarras, filitas, grauwackas, incluso cuarcitas.

Ordovícico

Pertenece a él la cuarcita armoricana.

Silúrico

De poca importancia en la zona de estudio, aparece a la derecha de Peña Tintera, ya en pleno Sinclinal de Tamames.

Rocas ígneas

Constituidas por granitos hercínicos de dos micas y granodioritas, forman el flanco Sur de la zona.

Rocas metamórficas

En general metamorfismo de contacto de bajo grado, forma aureola alrededor del batolito granítico, siendo su extensión en el área igualmente escasa.

Pliopleistoceno

Equivalente a rañas (Molina, comunicación personal), aureolan desde una altura aproximada de 1.100 m., y se extiende hacia el Norte y Noroeste con un ángulo próximo al 3 por 100, casi monótonamente, a excepción de los valles excavados por los arroyos y ríos más importantes (El Zarzoso, Morasverdes, El Maíllo, etc.) en los que se descubre el zócalo Cámbrico o se forman los escasos aluviales.

Esta raña o rañoides está compuesta por cantos principalmente cuarcíticos, que al fracturarse muestran una profunda alteración interna, estando muchos de ellos fuertemente teñidos de óxidos de hierro ; la matriz es gredosoarcillosa.

Cuaternario

El Cuaternario más o menos reciente tiene poca importancia, cobrando sólo interés al Norte de la zona, donde se abren los valles de los ríos

y existe potencia de aluviones suficientes para recubrir el Cámbrico subyacente.

3. GEOMORFOLOGÍA

El relieve actual obedece principalmente al sistema de fracturación alpina, sobre el que se han depositado extensos sedimentos plioleistocenos a niveles inferiores a los 1.100 m.; por tanto, es probable que la totalidad de la sedimentación Miocena haya sido barrida por ciclos de erosión intermitentes.

Así es posible (fig. 1) señalar dos partes bien diferenciadas: la zona Norte, donde se inicia una monótona llanura ligeramente inclinada hacia la depresión de Ciudad Rodrigo y la zona Sur, de topografía abrupta, con grandes pendientes y erosión remontante activa. La red hidrográfica, que en su cabecera ha excavado profundos barrancos (probablemente aprovechando los planos de falla), al salir a la llanura sigue la pendiente general, contribuyendo en algún grado al desplazamiento de la superficie rañoide.

4. CLIMATOLOGÍA

Los datos climatológicos, referidos a la cercana localidad de Villanueva del Conde (Garmendía, 1964 y 1965), señalan una alta precipitación, superior a los 1.000 mm. anuales, que en un porcentaje superior al 75 por 100 cae dentro de los meses de otoño e invierno, no alcanzándose en verano ni siquiera los 80 mm. de pluviometría, en general en forma de aguaceros tormentosos; sin embargo, esto es sólo válido para la zona de Sierra del área de estudio, ya que la pluviometría desciende rápidamente hacia el Norte, donde llega a ser alrededor de los 800 mm.

En cuanto a la temperatura, la orientación general Norte de la zona y la altitud debe rebajar al menos dos grados la temperatura media de Villanueva del Conde, 14,5° C (Garmendía, 1964 y 1965), así como las medias de las mínimas que se puede afirmar se encuentran próximas a los 4° C. Las extremas (47,0° y —11,0° C) deben ser del mismo orden.

Resumiendo, hay que postular que el clima actual varía ampliamente en el área de estudio, oscilando desde un clima húmedo extremado (en la zona de Sierra) hasta subhúmedo extremado (zona Norte).

5. VEGETACIÓN

La vegetación climax es sin duda el bosque de *Quercus pyrenaica*; no obstante, es interesante constatar que hacia el Norte de la zona, las laderas de las estribaciones del Sinclinal de Tamames tienen una orientación general SW que la hacen algo más cálidas; ello se observa sobre el terreno, ya que el anterior bosque es sustituido por la especie esclerófila *Q. ilex*. Hacia los 1.100 m. de altitud el bosque de *Q. pyrenai-*

ca se aclara en parte debido a la degradación de origen antropógeno, siendo sustituido por el brezal, en el que predominan diversas especies de *Erica* y *Cistus* y localmente retamas y leguminosas (Bellot, y Casaseca, 1966). Sin embargo, hoy día el brezal está igualmente en retroceso merced a la intensa repoblación que se está efectuando principalmente con *Pinus sylvestris* y *P. pinaster*; localmente se han implantado otras especies de coníferas con fines experimentales.

Por tanto, la agricultura solamente se observa en algunas huertas en los valles de los ríos y en las facies menos pedregosas de los bordes rañoides; en la mayor parte de la zona se conserva el robledal más o menos degradado, con lo que se ha frenado la erosión; esto es muy importante, ya que el basamento Cámbrico está constituido por un material limoso y blando, con lo que se pueden observar incluso antiguos caminos convertidos en zanjas y cárcavas más o menos profundas, en topografía casi horizontal.

6. MÉTODOS

Los métodos utilizados en las determinaciones fueron:

Método internacional de la pipeta para el análisis mecánico.

Método de Kjeldahl para el Nitrógeno total.

Método del dicromato potásico, vía húmeda (Gallardo, 1975), para el Carbono orgánico.

Método del cloruro bórico (Mehlich, 1948), para la capacidad de cambio.

Determinación de sesquióxidos libres mediante el procedimiento propuesto por Duchaufour y Souchier (1966).

Para la sílice libre se utilizó el Na_2CO_3 (Mitchell et al., 1964).

Determinación final de elementos mediante espectrofotometría de absorción atómica (Varian, 1250).

El fraccionamiento orgánico adoptado fue una modificación del propuesto por Duchaufour y Jacquin (1963 y 1966), en aras de una mayor simplicidad y rapidez: I extracción, con $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$, 0,1 N más Na_2SO_4 al 5 por 100; II extracción, $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ 0,1 M + NaOH 0,1 M; separándose los ácidos húmicos y fúlvicos de la I extracción a pH 1,5, mediante adición de H_2SO_4 (se realizaron dos extracciones cada vez, con agitación y una hora de duración). Las fracciones obtenidas se denominaron: ácidos fúlvicos y húmicos (I extracción), húmina extraíble (II extracción) y húmina residual (no extraíble) (Gallardo y Bacas, 1973).








7. SUELOS

A continuación se describen los suelos seleccionados, cuya ubicación se señalan en las figuras 2 y 3.

Los datos analíticos resultantes de las determinaciones correspondientes se expresan en la tabla I.

Las abreviaturas utilizadas aparte de las ya clásicas son: M. O. =

Geología de la zona

-  Granito porfirico (dos micas)
-  Metamorfismo
-  Pizarras y Grauwackas (Cámbrico)
-  Metacuarcita (ordovícico)
-  Pizarras y C
-  Pudingas metacuarcíticas (Plio-pléistoceno)
-  Aluvial (cuaternario)

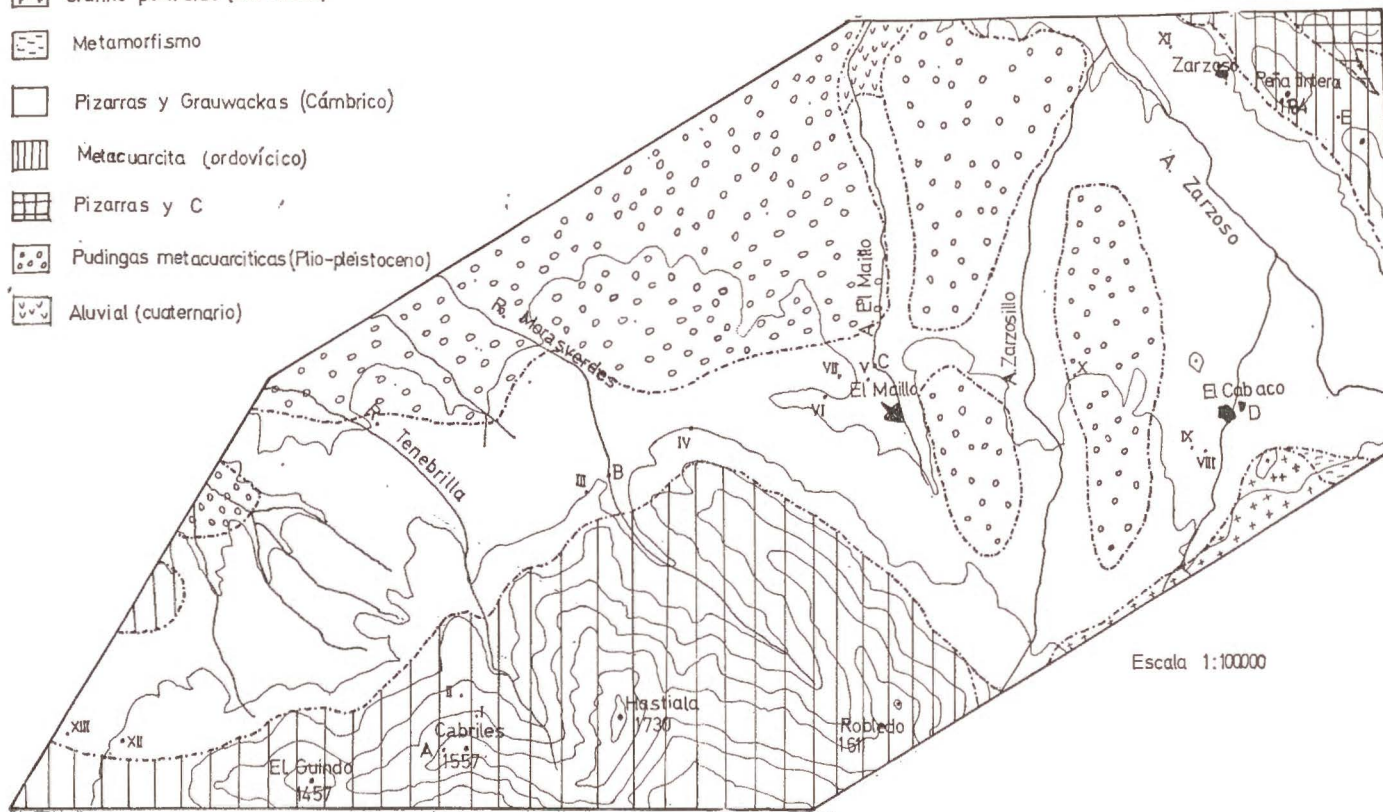


Fig. 1

Asociaciones e Inclusiones de suelos

1. Litosoles + Cambisol húmico (ranker + regosol dístico)
13. Fluvisol dístico + Fluvisol eútrico (cambisol gleico)
22. Cambisol húmico + Cambisol crómico (luvisol órtico)
23. Cambisol dístico + Cambisol húmico (luvisol órtico + litosol)
25. Luvisol gleico + Cambisol eútrico (planosol eútrico + cambisol gleico)
29. Cambisol dístico + Litosoles (cambisol húmico)
30. Acrisol húmico + Cambisol dístico (luvisol álbico)
31. Cambisol húmico + Cambisol dístico (Ranker + Litosol)

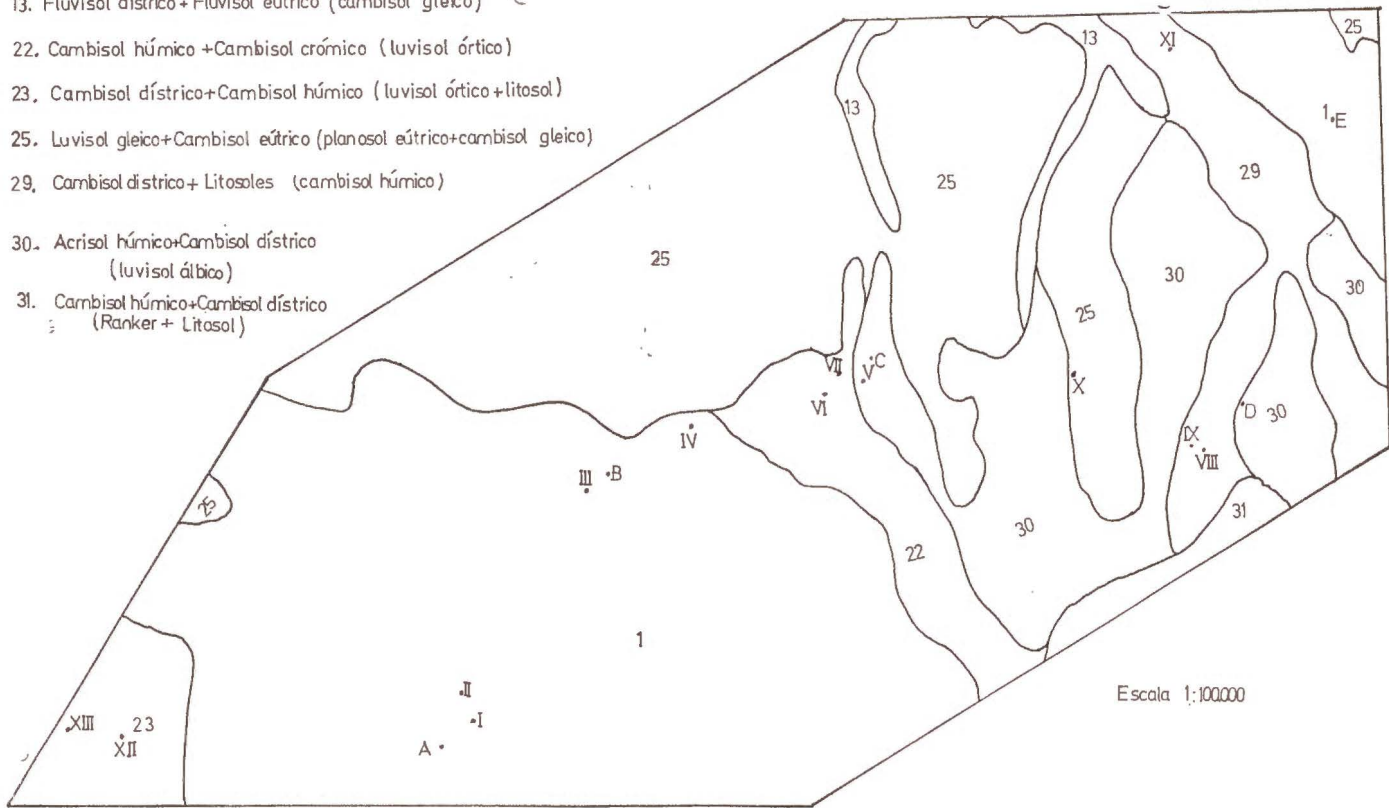


Fig. 2

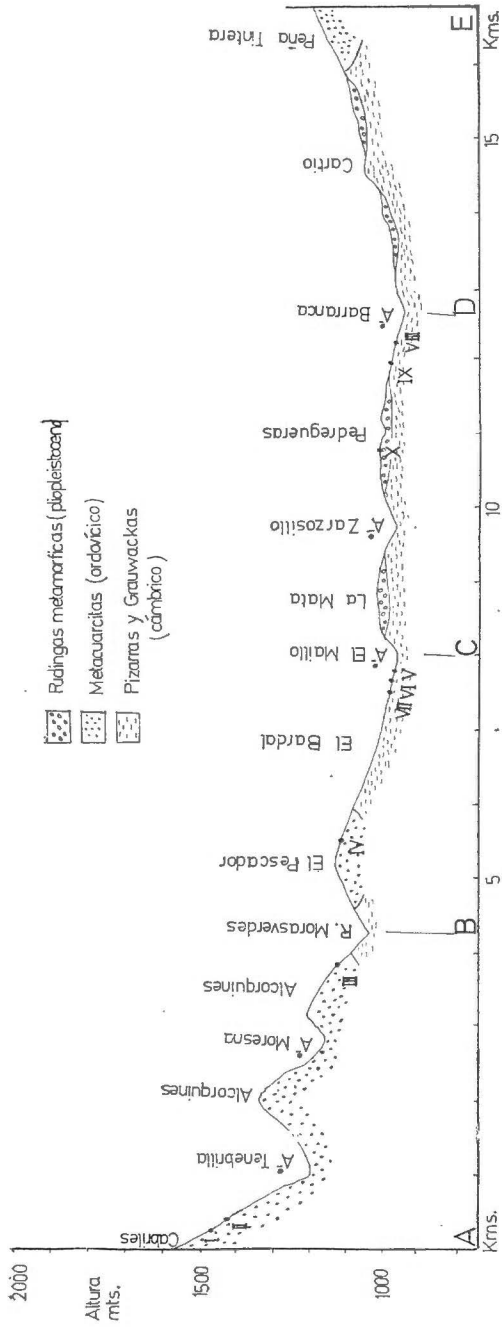


Fig. 3

materia orgánica; A. G. = arena gruesa; A. F. = arena fina; L = limo; A = arcilla; A. F. = fracción fúlvica; A. H. = fracción húmica; H. E. = fracción humina extraíble; R = fracción orgánica residual no extraíble; N. E. = nivel de extracción.

Perfil I

Situación: Cabriles (El Maíllo).	Clasificación: Podsol humoferruginoso (Podsol órtico).
Relieve: montañoso.	Altitud: 1.525 m.
Pendiente: escarpada, 25 por 100.	Posición fisiográfica: ladera, parte alta.
Geología: Cuarcitas (Ordovícico).	Orientación: Norte.
Drenaje externo: bueno.	Drenaje interno: bueno.
Vegetación: <i>Calluna sp.</i> , <i>Q. pyrenaica</i> , Muscíneas, Líquenes.	Fecha: 26-II-1975.
Uso: monte bajo.	

Hor.	Prof. (cm)	Descripción morfológica
A ₀	0-10	7,5 YR 2/0, negro, semi-húmedo; humoso migajoso; ligeramente duro; poros tubulares, grava angulosa y algo redondeada, arena lavada de cuarzo; abundantes raíces finas; límite difuso y ondulado a
A ₁	10-20	5 YR 2,5/2, pardo-rojizo oscuro, semi-húmedo; las mismas características que el anterior pero menos humoso, areno-limoso; ligeramente adherente, transición ondulada y gradual a
A ₂	20-30	5 YR 3/2, pardo-rojizo oscuro, semi-húmedo; areno-limoso; migajoso, suelto; pocas raíces finas; transición neta y ondulado a
B _h	30-35	2,5 YR 2,5/2, rojo muy oscuro y 10 R 2,5/1 negro-rojizo, semi-húmedo; humoso; migajoso suelto, adherente; frecuentes raíces finas y medianas; transición abrupta e irregular a
B _k	35-75	5 YR 4/6, rojo amarillento, manchas negras de materia orgánica; húmedo; areno-limoso; angular, poco estable, algo aglomerado; pocos poros intersticiales; muy pocas raíces; horizonte muy irregular; transición difusa a
C ₁	+ 75	5 YR 5/6, rojo amarillento, húmedo; horizonte de las mismas características que el anterior, pero menos manchas de humus; grava angular de cuarcita; ninguna raíz.

Perfil II

Situación: Cabriles (El Maíllo).	Clasificación: tierra parda podsolizada (Cambisol húmico).
Relieve: montañoso.	Altitud: 1.500 m.
Pendiente: escarpado, 25 por 100.	Posición fisiográfica: ladera, parte alta.
Geología: Cuarcitas (Ordovícico).	Orientación: Noroeste.
Drenaje externo: excesivo.	Drenaje interno: bueno.
Vegetación: <i>Q. pyrenaica</i> , <i>Calluna sp.</i> , Gramíneas y Líquenes.	Fecha: 26-II-1975.
Uso: monte alto.	

Hor.	Prof. (cm)	Descripción morfológica
A ₁₁	0-20	2,5 YR 2,5/0, negro, húmedo; areno-limoso; migajoso, suelto; granos de arena decolorados; muchos poros finos vesiculares; piedras angulares de cuarcitas; abundantes raíces medianas y finas; transición gradual a
A ₁₂	20-60	Horizonte con las mismas características que el anterior, pero menos humoso areno-limoso; más pedregoso, menos enraizado pero con raíces más gruesas; límite neto y plano a
B/C ₁	+ 60	5 YR 4/3, pardo-rojizo, semi-húmedo; arenoso; subangular, débil; suelto; frecuentes poros medianos; pocas raíces finas, frecuentes gruesas.

Perfil III

Situación: El Maillo.	Uso: monte alto.
Relieve: montañoso.	Clasificación: tierra parda (Cambisol húmico).
Pendiente: inclinado, 12 por 100.	Altitud: 1.054 m.
Geología: Cuarcitas y esquistos (Paleozoico).	Posición fisiográfica: ladera, parte alta.
Drenaje externo: bueno.	Orientación: Nordeste.
Vegetación: <i>P. pinaster</i> , <i>Calluna sp.</i> , <i>Genista sp.</i> , <i>Pteridium Aquilinum</i> , Muscíneas.	Drenaje interno: excesivo.
	Fecha: 26-II-1975.

Hor.	Prof. (cm)	Descripción morfológica
A ₁₁	0-10	2,5 YR 3/0, gris oscuro, semi-húmedo; humoso; migajoso, suelto; muchos poros finos; algunos gravillas de cuarzo y esquistos meteorizados; abundantes raíces finas; transición neta y plana a
A ₁₂	10-25	5 YR 3/2, pardo rojizo oscuro, húmedo areno-limoso-arcilloso; angular, moderada; adherente, ligeramente plástico; frecuentes poros tubulares; cantos y gravas angulosos frecuentes; frecuentes raíces medianas y finas; transición difusa y plana a
B	25-50	Abigarrado de 7,5 YR 5/6 pardo fuerte y de 7,5 YR 4/4 pardo oscuro, con manchas negras de descomposición de raíces y emigración de humus; areno-limo-arcilloso; angular, moderada; adherente, ligeramente plástico; frecuentes poros tubulares; piedras angulares frecuentes; pocas raíces finas, frecuentes medianas y muy pocas gruesas; transición difusa a
C ₁	+ 50	7,5 YR 5/6, pardo fuerte, húmedo; areno-limo-arcilloso; angular, moderada; algo aglomerado, adherente, ligeramente plástico, pocos poros tubulares; muy pocas raíces.

Perfil IV

Situación: El Maillo.	Clasificación: tierra parda (Cambisol húmico).
Relieve: casi llano.	Altitud: 1.080 m.
Geología: Esquistos (Cámbrico).	Drenaje interno: bueno.
Drenaje externo: bueno.	Fecha: 26-II-1975.
Vegetación: Ericáceas, <i>Genista sp.</i>	
Uso: erial.	

Hor.	Prof. (cm)	Descripción morfológica
A ₁₁	0-20	10 YR 3/1, gris rojizo oscuro, semi-húmedo; arenolimoso, humoso; migajoso, suelto; granos de cuarzo decolorados; poros muy finos intersticiales; algún canto y piedras de cuarzo; finamente enraizado; límite neto y ondulado a
A ₁₂	20-35	10 R 2,5/1 negro rojizo húmedo; humoso angular, moderada; ligeramente adherente, friable; poroso; raíces finas y pocas medianas; transición difusa a
(B)/C ₁	+ 35	10 YR 5/8 pardo amarillento, manchas de emigración de humus, húmedo; areno-limo-arcilloso; angular, moderado, algo aglomerado; friable; pocas raíces medianas.

Perfil V

Situación: El Maillo.

Relieve: colinado.

Pendiente: inclinado, 7 por 100.

Geología: Esquistos (Cámbrico).

Drenaje externo: bueno.

Vegetación: *Q. pyrenaica*, *Ononis sp.*,

Gramíneas, Ericáceas.

Uso: monte alto.

Clasificación: suelo pardo lixiviado (Acrisol órtico).

Altitud: 970 m.

Posición fisiográfica: ladera, parte baja.

Orientación: Sur.

Drenaje interno: bueno.

Fecha: 4-III-1975.

Hor.	Prof. (cm)	Descripción morfológica
A	0-5	5 YR 3/2, pardo rojizo oscuro, semi-húmedo; humo-limoso; angular, moderada, finamente grumoso en superficie; muy poroso; abundantes raíces finas y muy finas; transición plana y neta a
AB	5-30	7,5 YR 4/6 pardo-rojizo amarillento, húmedo; areno-limo-arcilloso; angular, moderada; algo adherente, algo plástico, firme poroso; frecuentes cantos angulares de cuarcita; frecuentes raíces muy gruesas, abundantes medianas y frecuentes finas; transición gradual a
B ₁	30-60	7,5 YR 5/8, pardo fuerte, húmedo; areno-limo-arcilloso, algo aglomerado, moderado; muy adherente, muy plástico; cutanes en lugares de piedras y raíces; frecuentes raíces medianas; transición gradual a
B _{2g}	+ 60	Del mismo color que el anterior y con manchas rojizas; las mismas características que el anterior pero más arcilloso y más aglomerado.

Perfil VI

Situación: El Maillo.

Relieve: fuertemente ondulado.

Geología: Esquistos (Cámbrico).

Drenaje externo: bueno.

Vegetación: Gramíneas, *Cistus sp.*

Uso: pastos.

Clasificación: suelo pardo lixiviado (Acrisol órtico).

Altitud: 1.020 m.

Posición fisiográfica: ladera, parte media.

Drenaje interno: lento.

Fecha: 26-II-1975.

Hor.	Prof. (cm)	Descripción morfológica
A	0-12	7,5 YR 4/4, pardo, semi-húmedo; areno-limo-arcilloso, subangular, moderada; friable; poros finos vesiculares; abundantes raíces finas; transición gradual a
A/B	12-30	5 YR 5/8, rojo amarillento, semi-húmedo, limo-arcilloso; angular, moderada; friable, ligeramente plástico; orla de cantos angulosos cuarzosos entre los 12 y 18 cms.; frecuentes raíces finas; transición gradual a
B ₁	30-40	5 YR 5/8, rojo amarillento, algo húmedo limo-arcilloso; angular, moderada; firme; pocos poros tubulares; colonizado; transición difusa a
B _{2g}	+ 40	7,5 YR 5/6, pardo fuerte, pocas manchas rojizas 5 YR 5/8 rojo amarillento indistintas y difusas; semi-húmedo; limo-arcilloso; angular, moderada, algo aglomerado; friable; pocos poros, pocas raíces finas.

Perfil VII

Situación: El Maíllo.

Relieve: colinado.

Pendiente: inclinado, 12 por 100.

Geología: Esquistos (Cámbrico).

Drenaje externo: bueno.

Vegetación: *P. pinaster*, Gramíneas, Compuestas.

Uso: monte alto.

Clasificación: suelo pardo lixiviado (Acrisol órtico).

Altitud: 1.000 m.

Posición fisiográfica: ladera, parte alta.

Orientación: Sur.

Drenaje interno: lento.

Fecha: 4-III-1975.

Hor.	Prof. (cm)	Descripción morfológica
A	0-20	7,5 YR 4/4, pardo amarillento, semi-húmedo; limo-arenoso; angular, moderada; firme; pocos poros tubulares frecuentes; pocas gravas; frecuentes raíces medianas, muy pocas finas; alta actividad biológica; transición plana y gradual a
B ₁	20-40	10 YR 4/4 pardo amarillento oscuro, semi-húmedo; arenoso; angular, moderada; friable; poroso; con gran abundancia de piedras y grava angular y subredondeada de cuarcita rojiza; frecuentes raíces medianas; actividad biológica; transición neta y plana a
B ₂	40-75	7,5 YR 5/4, pardo, semi-húmedo; con muchas manchas 2,5 YR 4/6 definidas y difusas; limo-arcilloso; angular, moderada; firme; cutanes en lugares de piedras; frecuentes raíces medianas y gruesas; transición difusa a
C _{1g}	+ 75	2,5 YR 5/4, pardo oliva claro, húmedo con manchas del mismo color que las del anterior; limo-arcilloso, angular, moderada, algo aglomerado; pocas raíces gruesas y muy gruesas.

Perfil VIII

Situación: El Cabáco.	Clasificación: suelo pardo rojizo (Acrisol órtico).
Relieve: colinado.	Altitud: 980 m.
Pendiente: inclinado, 10 por 100.	Posición fisiográfica: ladera, parte alta.
Geología: Esquistos (Cámbrico).	Orientación: Este.
Drenaje externo: bueno.	Drenaje interno: lento.
Vegetación: <i>Q. pyrenaica</i> , Gramíneas.	Fecha: 25-II-1975.
Uso: monte alto.	

Hor.	Prof. (cm)	Descripción morfológica
A	0-10	5 YR 4/6 rojo amarillento, húmedo; areno-limo-arcilloso; subangular, moderada; firme; frecuentes poros; frecuentes raíces medianas; muy colonizado; transición muy difusa a
B	10-30	2,5 YR 4/6, rojo, húmedo; areno-limo-arcilloso; angular, poco estable; pocos poros; cantos de cuarcitas; pocas raíces medianas y pocas gruesas; transición neta a
B/C ₁	+ 30	2,5 YR 4/8, rojo, húmedo; arcilloso; angular moderada; ligeramente plástico; pocos poros; pocas raíces medianas; material rojizo de partida.

Perfil IX

Situación: El Cabáco.	Clasificación: suelo pardo rojizo (Acrisol órtico).
Relieve: colinado.	Altitud: 980 m.
Pendiente: inclinado, 10 por 100.	Posición fisiográfica: ladera, parte alta.
Geología: Esquistos (Cámbrico).	Orientación: Sudeste.
Drenaje externo: bueno.	Drenaje interno: lento.
Vegetación: <i>P. silvestris</i> , <i>Calluna sp.</i> , <i>Genista sp.</i> , Muscíneas.	Fecha: 25-II-1975.
Uso: monte alto.	

Hor.	Prof. (cm)	Descripción morfológica
A	0-10	5 YR 4/6, rojo, amarillento, con manchas negras de humus, húmedo; areno-limo-arcilloso; subangular, moderada; poroso; raíces medianas; hifas de hongos en la capa superior de forma muy irregular de hasta 1 cm. de espesor; transición difusa e irregular a
B	+ 10	2,5 YR 4/6, rojo, húmedo; areno-limo-arcilloso; subangular, débil; ligeramente plástico, algo masivo; poca gravilla de cuarcitas y gravas; bastantes raíces medianas y pocas gruesas; horizonte profundo de carácter relicto.

Nota.—Se ha dividido en dos subhorizontes el horizonte B, uno B₁ de 10-40 cms. y otro B₂ a más de 40 cms.

Perfil X

Situación: El Maillo.	Uso: monte alto.
Relieve: llano.	Clasificación: suelo lixiviado pseudo gleyzado (Acrisol órtico).
Geología: Pudingas metacuarcíticas («rañas», Pliopleistoceno).	Altitud: 1.000 m.
Drenaje externo: lento.	Drenaje interno: lento.
Vegetación: <i>Q. pyrenaica</i> , Gramíneas.	Fecha: 28-X-1975.

Hor.	Prof. (cm)	Descripción morfológica
		Humus mull ácido, suelto con pocos restos de material no reconocible; bien humificado e incorporado a la materia inorgánica, pero con presencia de arena lavada muy fina.
A	0-20	5 YR 5/4, pardo rojizo, semi-húmedo; areno-limo-arcilloso; grumoso en superficie, pasando a angular fino a más profundidad; poroso con abundantes poros finos vesiculares y tubulares; abundantes gravas y piedras cuarcíticas subangulares muy meteorizadas; enraizamiento abundante, raíces medianas, finas y gruesas frecuentes; transición plana y neta a
B ₂₁	20-50	7,5 YR 5/8, pardo fuerte, pocas manchas rojas, semi-húmedo; arcilloso; subangular, moderada; firme; presencia de cutanes en huecos de piedras, poros tubulares e intersticiales; abundantes piedras y gravas de cuarcitas muy meteorizadas; frecuentes raíces medianas y finas, pocas muy gruesas; transición plana y difusa a
B ₂₂	50-80	10 YR 6/8, parduzco con manchas 10 R 4/8 rojo, frecuentes, grandes y destacadas; arcilloso; subangular fuerte que se desagrega en angular fuerte fina y dura, algo aglomerado; presencia de cutanes; poco poroso; pocas raíces gruesas, frecuentes medianas; transición plana y difusa a
B _{2g}	+ 80	Abigarrado de 10 R 4/8, rojo y 10 YR 6/8 amarillento parduzco; arcilloso; la misma estructura que el anterior; en húmedo ligeramente plástico; presencia de cutanes en huecos de piedra; prosigue la presencia de gravas y piedras de cuarcita pero más abundantes.

Perfil XI

Situación: El Zarzoso.	Clasificación: suelo pardo lixiviado (Luvisol órtico).
Relieve: colinado.	Altitud: 1.000 m.
Pendiente: inclinado, 7 por 100.	Posición fisiográfica: ladera, parte alta.
Geología: Esquistos (Cámbrico).	Orientación: Oeste.
Drenaje externo: bueno.	Drenaje interno: bueno.
Vegetación: <i>Q. ilex</i> , <i>Robus sp.</i> , Gramíneas, Compuestas.	Fecha: 26-II-1975.
Uso: monte alto.	

Hor.	Prof. (cm)	Descripción morfológica
A	0-10	10 YR 3/3, pardo oscuro, húmedo; areno-limo-arcilloso; migajoso, moderada; friable; muchos poros; cantos angulosos; abundantes raíces finas y medianas; límite neto y ondulado a
B	10-40	10 YR 5/4, pardo, amarillento, húmedo; areno-limo-arcilloso; sub-angular, débil; ligeramente plástico; poros tubulares medianos; abundantes gravas y algún canto de esquistos meteorizados; frecuentes raíces medianas y pocas gruesas; transición difusa y ondulada a
B/C ₁	+ 40	7,5 YR 5/6, pardo fuerte, manchas amarillas y negras, húmedo; areno-limo-arcilloso; angular, moderada; abundantes gravas de esquistos; firme; pocos poros tubulares grandes; pocas raíces finas.

Perfil XII

Situación: Serradilla del Arroyo.

Relieve: llanura.

Geología: Cuarcitas y esquistos (Paleozoico).

Drenaje externo: bueno.

Vegetación: Gramíneas, Ericáceas y Líquenes.

Uso: pastos.

Clasificación: suelo pardo lixiviado (Acrisol húmico).

Altitud: 1.100 m.

Drenaje interno: bueno.

Fecha: 4-III-1975.

Hor.	Prof. (cm)	Descripción morfológica
A	0-20	10 YR 2/2, pardo muy oscuro, semi-húmedo humoso; angular; algo adhesivo; muy poroso, poros muy finos vesiculares; fragmentos redondeados de cuarcitas; abundantes raíces; transición plana y neta a
B ₁	20-40	10 YR 3/4, pardo amarillento oscuro, húmedo areno-arcilloso; suelto; ligeramente plástico, adherente; abundante grava y algunas piedras de cuarcitas; frecuentes raíces finas y medianas; transición difusa a
B ₂	+ 40	10 YR 5/8, pardo amarillento, húmedo; arcillo-arenoso; aglomerado; plástico, adherente; cutanes muy delgados; piedras y gravas de cuarcitas muy abundantes.

Perfil XIII

Situación: Serradilla del Arroyo.

Relieve: llanura.

Geología: Cuarcitas y esquistos (Paleozoico).

Drenaje externo: bueno.

Vegetación: *P. pinaster*, Muscíneas y Líquenes.

Uso: monte alto.

Clasificación: suelo pardo lixiviado (Acrisol húmico).

Altitud: 1.100 m.

Drenaje interno: lento.

Fecha: 4-III-1975.

TABLE I
Resultados analíticos

Perfil	Horizonte	pH		C %	M. O. %	N %	C/N	Análisis granulométrico				Oxidos libres			Complejo de cambio						Fraccionamiento húmico					
		H ₂ O	ClK					A. G. %	A. F. %	L %	A %	Fe ₂ O ₃ %	Al ₂ O ₃ %	SiO ₂ ‰	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	S	T	V %	A. F. %	A. H. %	H. E. %	R %	N. E. %
I	A ₀	4,4	3,1	10,30	17,75	0,370	27,8	10,4	48,0	11,5	8,6	1,1	0,0	0,5	4,1	1,4	0,2	0,3	6,0	35,3	17,0	6,5	5,0	12,5	76,0	24,0
	A ₁	4,5	3,1	2,45	4,22	0,124	19,7	10,0	58,0	17,5	8,8	1,3	0,4	1,0	1,7	0,5	0,1	0,1	2,4	18,2	13,2	8,5	15,2	18,3	58,0	42,0
	A ₂	4,7	3,4	1,25	2,15	0,071	17,6	10,0	60,6	14,7	12,6	1,8	0,4	1,5	0,9	0,3	0,2	—	1,4	10,9	12,8	11,4	19,5	12,2	56,9	43,1
	B ₁	4,9	3,7	2,93	5,05	0,144	20,3	8,5	56,6	17,0	15,0	2,5	0,8	1,0	1,0	0,3	0,1	0,2	1,6	22,6	7,1	26,4	28,2	6,1	39,3	60,7
	B ₂	5,3	4,3	1,00	1,72	0,060	16,6	6,0	60,8	18,5	13,7	1,9	1,0	0,6	0,6	0,1	0,1	0,1	0,9	12,7	7,1	63,2	15,8	6,3	14,7	85,3
II	C ₁	5,4	4,4	0,32	0,55	0,028	11,4	8,5	72,5	10,7	9,3	1,4	0,7	0,7	0,4	t	0,1	0,1	0,6	5,5	10,9	—	—	—	—	—
	A ₁₁	4,6	3,4	10,80	18,62	0,463	23,3	11,5	44,0	15,0	8,0	1,7	0,7	0,7	6,2	1,7	0,1	0,5	8,5	38,2	22,3	3,9	5,7	11,8	78,6	21,4
	A ₁₂ (B)/C ₁	4,1	3,0	9,80	16,89	0,428	22,8	10,0	45,5	15,8	8,6	1,8	0,9	1,2	2,9	0,8	0,3	0,2	4,2	40,0	10,5	3,8	7,2	11,7	77,3	22,7
III	(B)/C ₁	4,9	3,8	3,35	5,77	0,172	19,4	12,5	54,7	14,0	10,0	2,4	1,0	0,5	1,1	0,3	0,1	—	1,5	25,5	5,9	30,7	24,0	6,3	39,0	61,0
	A ₁₁	4,9	3,4	7,56	13,03	0,314	24,0	9,0	43,0	23,0	10,5	1,4	1,0	0,5	3,3	1,4	0,2	0,3	5,2	34,6	15,0	6,0	6,3	12,8	74,8	25,1
	A ₁₂ (B)	5,1	3,8	4,36	7,51	0,229	19,0	6,0	37,5	28,0	21,6	2,1	1,9	0,4	0,8	0,3	0,1	—	1,2	28,0	4,3	25,7	10,9	8,0	55,3	44,6
	C ₁	5,3	4,2	2,25	3,87	0,125	18,0	8,5	41,0	31,0	16,2	1,7	2,0	0,5	0,6	0,2	0,1	—	0,9	18,9	4,8	37,4	13,7	7,6	41,2	58,7
IV	(B)/C ₁	5,4	4,3	0,98	1,68	0,080	12,2	6,5	36,4	36,5	19,5	2,1	2,0	0,8	0,5	0,1	0,1	—	0,7	12,7	5,5	40,9	9,7	8,6	40,8	59,2
	A ₁₁	5,0	3,8	5,98	10,30	0,254	23,5	6,0	47,5	21,5	12,3	1,8	1,1	0,9	2,7	0,6	0,2	0,1	3,6	30,2	11,9	11,7	13,1	10,1	65,1	34,9
	A ₁₂ (B)/C ₁	5,2	4,2	3,30	5,68	0,160	20,6	5,0	44,0	27,2	15,4	2,6	1,8	0,5	0,9	0,1	0,1	—	1,1	21,8	5,0	27,7	17,3	8,3	46,7	53,3
V	(B)/C ₁	5,4	4,2	0,83	1,43	0,060	13,8	5,5	44,0	31,4	15,8	2,5	1,4	0,9	0,7	0,2	0,1	—	1,0	8,0	12,5	31,8	11,4	9,1	47,7	52,3
	A	5,3	4,2	4,74	8,17	0,250	18,9	6,0	36,5	35,4	13,9	2,5	1,2	0,7	2,7	1,5	0,2	0,3	4,7	16,4	28,7	14,1	2,9	9,3	73,7	26,3
	A B	5,3	4,0	1,06	1,82	0,091	11,6	5,5	33,6	35,9	21,0	3,0	1,4	0,7	0,7	1,0	0,2	0,2	2,1	9,1	23,1	18,5	13,7	10,2	67,6	32,4
	B ₁	5,2	3,8	0,42	0,72	0,056	7,5	7,0	31,3	37,0	24,4	3,6	1,5	0,7	0,6	1,2	0,2	0,1	2,1	7,3	28,8	—	—	—	—	—
VI	B _{2g}	5,1	3,8	0,71	1,22	0,058	12,2	3,5	28,2	37,3	32,5	3,2	1,8	0,7	0,6	1,6	0,1	0,1	2,4	9,1	26,4	24,3	1,4	9,5	64,8	35,2
	A ₁	5,0	4,0	2,48	4,27	0,205	12,1	5,5	44,0	31,4	15,8	2,8	1,4	1,4	1,8	0,8	0,2	0,1	2,9	12,7	22,8	15,4	11,8	3,5	69,3	30,7
	A ₁ /B	5,2	3,9	1,19	2,05	0,127	9,3	5,5	17,6	53,0	20,4	2,8	1,5	1,0	1,6	1,2	0,2	—	3,0	12,7	23,6	19,3	4,2	11,8	64,7	35,3
	B ₁	5,2	3,9	0,71	1,22	0,093	7,6	3,5	11,5	59,0	24,0	2,7	1,4	0,6	1,4	1,6	0,2	—	3,2	10,9	29,4	26,4	4,2	11,1	58,3	41,7
VII	B _{2g}	5,1	3,7	0,36	0,62	0,062	5,8	2,0	10,3	61,0	25,0	3,4	1,3	0,7	1,4	3,0	0,1	—	4,5	9,1	49,5	—	—	—	—	—
	A	5,3	4,1	2,87	4,94	0,186	15,3	2,5	17,0	51,4	21,6	2,6	1,2	0,9	3,5	2,0	0,3	0,3	6,1	14,6	41,8	13,5	3,8	7,9	74,8	25,2
	B ₁	5,0	3,7	1,29	2,22	0,116	11,1	3,5	18,1	48,0	25,0	2,8	1,2	0,9	1,2	1,2	0,2	—	1,6	10,9	23,9	22,1	4,5	9,7	63,7	36,3
	B ₂	5,0	3,7	0,65	1,12	0,075	8,8	2,5	9,5	59,5	28,4	3,0	1,5	0,7	0,7	3,1	0,3	—	4,1	10,9	37,6	31,2	1,6	8,2	59,0	41,0
VIII	C _{1g}	5,0	3,7	0,48	0,82	0,059	8,1	1,5	7,5	69,5	21,0	3,5	1,4	0,4	1,2	4,2	0,2	—	5,6	18,2	30,3	—	—	—	—	—
	A	5,1	4,2	2,56	4,41	0,130	19,6	12,0	33,0	30,7	18,2	2,1	1,2	0,7	2,5	0,9	0,5	0,4	4,3	10,9	39,5	11,3	2,1	6,9	79,4	20,3
	B	5,1	4,1	1,15	1,98	0,080	14,3	14,0	29,5	27,4	25,0	2,6	1,2	0,7	1,2	0,7	0,8	0,3	3,0	7,3	41,1	16,5	2,9	9,7	70,9	29,1
IX	B/C ₁	5,1	3,9	0,54	0,93	0,051	10,5	5,0	17,1	43,2	32,5	1,9	1,8	0,4	1,5	0,8	0,7	0,1	3,1	7,3	42,5	28,3	0,9	9,4	60,4	38,6
	A	5,1	4,1	1,85	3,18	0,087	21,2	13,5	32,5	29,2	19,0	2,0	1,1	0,6	1,9	0,7	0,9	0,3	3,8	9,8	38,8	10,7	1,7	6,8	80,6	19,2
	B ₁	5,1	3,9	0,98	1,69	0,069	14,2	12,5	29,5	29,6	20,4	2,0	1,3	0,5	0,9	0,6	0,9	0,2	2,6	8,0	32,5	16,5	2,2	8,8	72,5	27,5
X	B ₂	5,2	3,9	0,61	1,05	0,048	12,7	8,0	26,5	31,1	32,7	2,0	1,4	0,5	1,2	0,8	0,7	0,1	2,8	9,1	30,8	19,3	1,7	10,5	68,5	31,5
	A	4,9	3,7	1,67	2,87	0,122	13,6	5,5	43,5	28,9	19,2	4,1	1,2	1,0	1,8	0,9	0,2	—	2,9	12,7	22,8	16,6	9,9	10,5	63,0	37,0
	B ₂₁	4,7	3,2	0,61	1,05	0,067	9,1	6,5	29,0	22,4	41,8	5,1	1,7	0,8	4,5	2,4	0,1	—	7,0	12,7	55,1	29,9	2,6	10,4	57,1	42,9
	B ₂₂	4,5	3,2	0,49	0,84	0,063	7,8	5,0	22,0	20,4	52,5	3,5	1,8	1,0	2,3	1,6	0,1	—	4,0	16,4	24,4	30,0	1,7	10,0	58,3	41,7
XI	B _{2g}	4,9	3,5	0,45	0,77	0,057	7,8	5,5	25,0	21,4	47,1	4,3	1,5	0,8	2,5	2,2	0,1	—	4,8	16,4	29,3	—	—	—	—	—
	A	5,8	4,9	3,10	5,34	0,232	13,4	23,5	20,2	34,3	15,3	2,4	1,1	0,9	4,7	3,5	0,5	0,5	9,2	17,1	53,8	13,6	3,5	10,5	72,5	27,6
	B	5,9	4,6	0,55	0,94	0,095	5,7	22,5	15,5	38,4	21,3	2,3	1,3	0,5	3,2	3,6	0,2	0,3	7,3	12,7	57,5	20,8	1,9	9,4	67,9	32,1
XII	B/C ₁	5,7	4,4	0,33	0,56	0,077	4,2	24,0	13,5	36,5	23,0	1,8	1,9	0,7	3,0	3,8	0,2	0,2	7,2	12,7	56,7	—	—	—	—	—
	A	5,2	4,1	3,47	5,98	0,212	16,3	7,5	48,7	22,8	15,0	2,0	1,5	1,0	1,0	0,3	0,2	0,1	1,6	18,2	8,8	16,0	11,4	13,3	59,3	40,7
	B ₁	5,3	4,1	0,94	1,68	0,087	10,8	6,5	52,5	21,5	18,6	2,4	1,5	1,1	0,6	0,2	0,1	—	0,9	9,1	9,9	27,5	6,6	12,1	53,8	46,2
XIII	B ₂	5,2	4,0	0,32	0,55	0,051	5,8	5,5	51,0	12,0	31,4	4,1	1,8	1,2	1,4	0,6	0,1	0,1	2,2	8,0	27,5	—	—	—	—	—
	A	5,0	4,1	2,56	4,41	0,125	20,4	7,5	60,4	10,8	15,8	1,7	1,3	0,7	0,6	0,2	0,1	—	0,9	14,6	6,2	20,8	10,6	11,0	57,6	42,4
	B ₁	5,1	4,2	0,77	1,32	0,055	14,0	11,9	59,5	13,8	20,2	2,0	1,5	0,7	0,6	0,2	0,1	—	0,9	7,3	12,3	31,4	7,0	8,1	53,5	46,5
XIII	B ₂	4,9	3,9	0,38	0,65	0,035	10,8	6,5	46,9	7,6	39,2	3,9	1,8	0,8	0,3	0,1	0,1	—	0,5	7,3	6,8	—	—	—	—	—

Liquenes.

Hor.	Prof. (cm)	Descripción morfológica
L	0-2	Capa de acículas de pino superior a 1 cm., horizonte de fermentación muy delgado con abundantes hifas de hongos.
A	2-15	10 YR 2/2, pardo muy oscuro, húmedo; humo-arenoso; migajoso; suelto; muy poroso, poros vesiculares; frecuentes raíces medianas y pocas gruesas; alguna lombriz grande; transición ondulada y neta a
B ₁	15-40	10 YR 4/6, pardo amarillento oscuro, frecuentes y destacadas manchas de humus, húmedo; areno-arcilloso; suelto sin desarrollo de estructura, algo aglomerado; adhesivo; pocos poros tubulares; frecuentes gravas de cuarcita, frecuentes raíces medianas; transición irregular y difusa a
B ₂	+ 40	10 YR 5/8 pardo amarillento, húmedo; areno-arcilloso; angular, moderada; algo duro; grandes cantos de cuarcita muy alterados; pocas raíces medianas.

8. UNIDADES DE SUELOS

Forteza (trabajo inédito) ha cartografiado la zona de estudio a escala 1:50.000 utilizando la fotointerpretación (fig. 2); las unidades de suelos dominantes que encuentra son: litosuelos, cambisoles húmicos y dísticos, luvisoles gleicos y órticos y acrisoles húmicos, que en general coinciden con las encontradas por los autores.

Con objeto de facilitar la exposición del trabajo, se consideran cada una de las unidades de suelos que tienen significación en la zona de estudio:

a) *Podsoles y suelos podsólicos* (perfil I)

Se sitúan por encima de los 1.500 m. sobre material cuarcítico, orientación general Norte y bajo brezal de ericáceas en general, están bien diferenciados y presentan frecuente pedregosidad en superficie. Poseen humus mor, siendo el porcentaje total de materia orgánica del orden de 15 por 100 en el hor. A₁, con máximo en B_n (5 por 100), que presenta un carácter sinusoidal. La textura es limofino-arenoso, por lo que la estructuración es escasa. La capacidad total de cambio es paralela al contenido en materia orgánica, aumentando la desaturación en profundidad. Se observa alto contenido en sílice libre, con un máximo (1,5 por 100) en el horizonte A₂; también es importante el porcentaje en hierro libre, que alcanza un valor del 2,5 por 100 en el horizonte B_n; más bajo es el contenido en aluminio libre, no sobrepasándose el 1,0 por 100 en el horizonte B_n.

b) *Cambisoles húmicos* (perfiles II, III y IV)

Estos suelos se extienden entre los 1.500 y 1.100 m. de altura, sobre material coluvial de cuarcita y pizarras; la vegetación es variada, en-

contrándose junto a restos del bosque «climax» de *Q. pyrenaica*, brezales de ericáceas y recientes repoblaciones de *P. silvestris* y/o *P. pinaster*.

Son suelos pedregosos que fácilmente superan los 60 cms. de profundidad, presentando humus moder (razón C/N próxima a 24). Sin embargo, es posible diferenciar los suelos que se encuentran en fuertes pendientes, de aquellos que se acercan a la zona de inflexión a la llanura rañoides. Los primeros son ácidos, más ricos en materia orgánica (que suelen superar el 15 por 100), con carácter limofino-arenoso, fuerte de saturación, y alto contenido en sílice libre, con un máximo en el horizonte A, pudiéndose observar emigración de sesquióxidos: son suelos que sin presentar diferenciación morfológica, se encuentran ligeramente podsolizados, y que podían equivaler a los rankers criptopodsólicos franceses o a los rankers pardos distróficos alemanes.

Los segundos, a menor altitud, aun manteniendo humus moder, poseen un contenido más bajo en materia orgánica total (entre el 10 y el 15 por 100), siendo el pH ligeramente más alto y poseyendo un carácter más limoso que los aproxima a textura franca; la capacidad de cambio total y la desaturación, sin embargo, se mantienen elevadas, es de notar que estos suelos suelen tener un horizonte superficial de unos 20 cms. de espesor más arenoso que puede ser debido tanto a un origen coluvial, como a una pérdida superficial lateral de elementos finos, fenómeno característico en suelos de pendientes.

c) *Acrisoles húmicos* (perfiles VII, XII y XIII)

Como se dijo anteriormente, en la franja de piedemonte comprendida entre 1.100 y 1.000 m. de altitud, se extienden acrisoles húmicos, que se caracterizan por poseer un horizonte de acumulación de arcilla, pero con pocos o delgados cutanes. Es evidente que la topografía horizontal debe favorecer la lixiviación; pero no se debe desechar la hipótesis de la existencia de dos procesos de sedimentación distintos. Con todo, y dado que el proceso de coluviamiento se encuentra actualmente detenido, es de pensar que la lixiviación ha contribuido a la pérdida de elementos finos en superficie.

El origen diverso del material original influye en la textura de estos suelos: los más ricos en elementos pizarrosos son fuertemente limosos, ácidos, de desaturación no excesiva (próximo al 60 por 100), con carácter masivo que origina, a causa del drenaje insuficiente en profundidad, fenómenos de gleización; los que tienen mayor proporción de material cuarcítico son limofinoarenosos, más permeables, con débil capacidad total de cambio en profundidad, con una desaturación acusada (superior al 70 por 100), y con fuertes máximos en arcilla (superior al 30 por 100) que suelen coincidir con los máximos de sesquióxidos libres (eluviación mecánica, Duchaufour, 1972).

d) *Acrisoles órticos* (perfiles V, VI, VIII, IX y X)

Se extienden sobre y alrededor de las superficies rañoides; en general, presentan gleización en profundidad, cuya intensidad depende de su

situación topográfica y morfológica: los suelos que se encuentran en las superficies planas no desmanteladas y que poseen un drenaje (tanto externo como interno) malo, son los más afectados.

Son suelos pedregosos («rañas»): la granulometría de la tierra fina está relacionada con el material de origen, por lo que oscila desde limo-finoarenoso (en superficie, por lo general) hasta fuertemente arcillosa en profundidad. El color es ampliamente variable; los horizontes gleizados presentan colores amarillentos, los más aireados colores pardos, y pardorrojizos, aunque son frecuentes los horizontes profundos fuertemente rojos. La capacidad de cambio suele ser baja, así como la saturación (cerca del 30 por 100); no obstante, se observan valores más altos cuando el drenaje interno se hace lento. El contenido en materia orgánica total es variable (según la influencia antropógena), siendo el humus de tipo mull ácido, aunque bajo repoblación de pinos es posible encontrar moder. La liberación de sesquióxidos es fuerte y se hace máxima en suelos sobre las superficies planas rañoides (superior al 3,5 por 100 en hierro libre y al 1,5 por 100 en aluminio libre); este hecho, junto con la acidez de estos suelos, deben contribuir a la existencia, indudable, de aluminio de cambio.

e) *Luvisoles* (perfil XI)

A pesar del material ácido, es posible encontrar luvisoles cuando existe un microclima más seco (evidenciado por la sustitución de la especie *Q. pyrenaica* por *Q. ilex*), debido principalmente a una exposición Sur de las laderas; así en este caso, los suelos son menos ácidos, con mayor saturación (superior al 65 por 100); poseen un moderado contenido en materia orgánica, y, en general, se encuentran erosionados; el contenido en arcilla suele ser menor, siendo elevado el de arena gruesa, por lo que no suele existir problemas de drenaje; la liberación de sesquióxidos libres suele ser elevada en los suelos más conservados; pueden clasificarse como luvisoles órticos, aunque asociados, en lugares de mayor erosión, con cambisoles dístricos (tierras pardas meridionales).

9. DISCUSIÓN

Según lo anterior, es de destacar la gran diversidad de suelos encontrados en la zona, muchos de ellos fuertemente evolucionados.

La primera cuestión que surge es la edad, absoluta o relativa, de estos suelos; para solucionar este problema, se tiene un punto de partida: la superficie rañoides; dado que este material data como mínimo del principio del Cuaternario, es lógico pensar que los suelos sobre esta superficie son los más antiguos, ya que se han podido formar a lo largo del Cuaternario; ello explicaría la gran alteración sufrida, ya que los minerales sin alterar, cuarzo aparte, representan menos del 10 por 100 (García Rodríguez y cols., 1974). Otras características que apoyan la hipótesis, es el alto contenido de arcillas en la tierra fina (alrededor del 50 por 100), en los horizontes B_t.

Suelos más modernos que éstos serían aquéllos que se producen

alrededor de las citadas superficies rañoides, sobre coluvios procedentes de su desmantelamiento. Sin embargo, se encuentra que estos suelos poseen igualmente una evidente diferenciación morfológica, y en muchos de ellos una fuerte rubefacción. Esto indica que el inicio de la parcial desmantelación de las superficies rañoides fue un proceso antiguo, posiblemente conectado con alguna fase periglacial, ya que el proceso de erosión se encuentra hoy casi detenido, haciendo excepción algunos procesos erosivos locales desencadenados por la actividad humana.

Debajo de las pudingas cuarcíticas, se encuentra un potente horizonte de alteración en el basamento, que facilita la formación de suelos más modernos, con el único requisito de que la erosión se anule. Cabe preguntar si esta alteración se ha favorecido por la presencia de la capa rañoides o ya era anterior a su sedimentación.

Según Molina (1974), esta segunda posibilidad es un hecho general en el Oeste español; sin embargo, no hay que desestimar que durante los períodos cálidos interglaciares la alteración debió ser profunda y alcanzar el basamento que se encontraba, por otra parte, protegido eficazmente contra la erosión. Esto conduce a la conclusión que ambas posibilidades (alteración Cenozoica y alteración Postpliocena) han debido suceder.

Por tanto, la erosión Holocena ha debido ser intensa solamente justo en cabecera de las superficies rañoides, en su entronque con la Sierra de Francia; como consecuencia es aquí donde se encuentran los únicos suelos postglaciales, junto con los existentes en vallecitos de arroyos y ríos. Altitud, pluviometría, baja temperatura, acidez de la roca, carácter finoarenoso del suelo, degradación antropógena del bosque clímax conducen a estos suelos, más o menos rápidamente, hacia la podsolización, a menos que algunos de los factores anteriores sea localmente más favorable; por ello es posible diferenciar un cinturón de cambisoles húmicos entre los suelos podsolizados de altitud y los acrisoles húmicos de la llanura. En la zona más xérica, en general, con exposición Sur, la degradación antropógena del bosque clímax es donde origina mayores procesos erosivos, tanto mayor, cuanto más fuerte es dicha pendiente.

Queda el problema de la homogeneidad o heterogeneidad del material de partida. En un trabajo reciente (Vicente et als., en prensa) se ha comprobado que las pizarras Cámbricas liberan caolinita, y también, ílita, mientras que las cuarcitas solamente ílita y algo de interestratificados.

Se deduce por los análisis mecánico y mineralógico, que los suelos situados a mayor altitud provienen principalmente del material cuarcítico; a medida que se descende, el material cuarcítico sigue influyendo, más o menos intensamente, sólo en la parte superficial de los perfiles (sin duda a causa del coluviamiento), observándose a veces evidentes discontinuidades no edáficas; en profundidad, la influencia del material Paleozoico se hace más fuerte, sobre todo, cuando ha sido barrida la capa superior rañoides. Con todo, se observa que los suelos sobre superficies rañoides poseen más caolinita que la encontrada por Molina (1974) en suelos análogos.

Por último, cabe señalar que muchos de estos suelos, a pesar de la lixiviación, más o menos intensa, sufrida, no evidencian cutanes o son observables principalmente debajo del horizonte B₂; esto coincide con lo expresado por Birkeland (1974), y la razón aún no está clara. Se postula que no es infrecuente que los cutanes se destruyan, a veces incluso tan rápidamente como se forman. En este caso concreto, el carácter arcilloso de algunos de los horizontes B (con movimientos internos estacionales del suelo), su antigüedad, así como la influencia antropógena intermitente, han podido contribuir a la desaparición de los citados cutanes. En este sentido, un laborioso estudio micromorfológico de estos suelos pudiera contribuir, quizás, al esclarecimiento de este problema.

10. CONCLUSIONES

1. La distribución de suelos del Norte de la Sierra de Francia está íntimamente ligada a las características geomorfológicas de la zona.

2. En la zona de Sierra se encuentran suelos más o menos podsolizados, ácidos hasta fuertemente ácidos.

3. En el piedemonte se extienden cambisoles húmicos Holocénicos, a veces con un sedimento superficial alóctono.

4. En las zonas rañoides, se encuentran suelos muy antiguos, gleizados en profundidad, y que se pueden clasificar como acrisoles bien húmicos u órticos.

5. La parcial desmantelación de las zonas llanas ha sucedido, en gran parte, en períodos interglaciares Pleistocénico, ya que los suelos sobre coluvios rañoides y en zonas denudadas presentan una fuerte evolución (lixiviación y rubefacción).

6. La alteración profunda del zócalo pizarroso es, en parte, Prepliocena, aunque dicha alteración ha podido continuar intermitentemente a lo largo del Pleistoceno.

Agradecimiento

Los autores agradecen a los Dres. García Rodríguez y Molina la revisión crítica del trabajo, así como al Dr. Forteza la utilización de la figura 2, de la que es autor.

RESUMEN

Se estudia la distribución de los suelos en la zona Norte de la Sierra de Francia.

Se deduce que existe una catena de suelos podsólicos-cambisoles-acrisoles, al disminuir la altitud, siendo aquellos suelos los más recientes y verdaderos paleosuelos los últimos, y estando asociado cada grupo de suelos a superficies morfológicas diferentes.

Por otra parte, se observa una profunda alteración del basamento Paleozoico, de origen relicto.

*Centro de Edafología y Biología Aplicada.
Sección de Cartografía y Tipología de Suelos. Salamanca.*

BIBLIOGRAFÍA

- BELLOT, F., CASASECA, B. (1966). Mapa de vegetación de la provincia de Salamanca. Publicaciones del I. O. A. T. O., Salamanca.
- DUCHAUFOUR, PH. (1972). Processus de formation des sols. C. R. D. P., Nancy.
- DUCHAUFOUR, PH., JACQUIN, F. (1963). Recherche d'une méthode d'extraction et de fractionnement des composés humiques contrôlée par électrophorèse. *Ann. Agron.*, **14**, 885-918.
- DUCHAUFOUR, PH., JACQUIN, F. (1966). Nouvelles recherches sur l'extraction et le fractionnement des composés humiques. *Bull. Ecol. Nat. Sup. Agron.*, Nancy, **8**, 3.
- DUCHAUFOUR, PH., SOUCHIER, B. (1966). Note sur une méthode d'extraction combinée de l'aluminium et du fer libres dans les sols. *Science Sol* (1), 17-29.
- GALLARDO, J. F. (1975). Nota sobre la determinación del carbono orgánico de suelos. *Anal. Edaf. y Agrobiol.*, **34**, 313-321.
- GALLARDO, J. F., BACAS, F. (1973). Estudio de la materia orgánica de un ranker pardo. *Anal. Edaf. y Agrobiol.*, **32**, 515-523.
- GARCÍA RODRÍGUEZ, A. y cols. (1974). Memoria de la Reunión sobre suelos del Centro-Oeste de España. Centro de Edafología y Biología Aplicada, Salamanca.
- GARMENDÍA, J. (1964 y 1965). El clima de la provincia de Salamanca. Publicaciones del I. O. A. T. O., Salamanca.
- KINDELAN, J. A. (1957). Sequeros. Mapa Geológico de España. I. G. M. E., Madrid.
- MEHLICH, A. (1948). Determination of cation and anion exchange properties of soils. *Soil Sci.*, **66**, 429-445.
- MITCHELL, B. D., FARMER, V. C., MCHARDY, W. C. (1964). Amorphous inorganic materials in soils. *Advance in Agronomy*, **16**, 327-383.
- MOLINA, E. (1974). Estudio del Terciario Superior y del Cuaternario del Campo de Calatrava. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias, Universidad Complutense. Madrid.
- VICENTE, A., EGIDO, J. A., GALLARDO, J. F. (en prensa). Evolución de los minerales de la arcilla de cuatro perfiles de la Sierra de Francia.
- BIRKELAND, P. W. (1974). *Pedology, weathering and geomorphological research*. Oxford University Press. New York

Recibido para publicación: 12-VII-77

CARACTERIZACION DE UN SUELO DESARROLLADO SOBRE CENIZAS VOLCANICAS DE LA SIERRA ECUATORIANA

por

JUAN L. DE OLMEDO y LUIS MEJIA (*)

SUMMARY

CHARACTERIZATION OF A SOIL DEVELOPED ON VOLCANIC ASHES OF ECUATORIAN MOUNTAIN

A soil of the Ecuatorian Interandine zone developed on volcanic materials (cangagua) is characterized. The soil is slight alkaline with superficial hidromorphy (pending layer) subactual. Ochric epipedon and argillic horizon in which besides alophanes, bad crystallized minerals of Kaolin group, hematites and some gibbsite, there are illitic and montmorillonitic tendencies; that thing permits classify it like Modal Andosol of Tropical country (French Classification) and Andic Udic Haplustalf (Soil Taxonomy). Are given uses to management the soil in front of chemical and physical problems.

El pasillo Interandino Ecuatoriano presenta como roca madre dominante la formación denominada «cangagua», duripán de origen geológico (Cuaternario antiguo, medio y reciente)-edafológico, origen de los andosuelos presentes en la zona (Luzuriaga, 1975).

El manejo inadecuado de tales suelos produce su erosión y desaparición, siendo este problema determinante para la zona, ya que tal denudamiento está originando la desaparición paulatina de sus suelos agrícolas; las graves consecuencias que tal situación origina son ya hoy día palpables en la zona en cuestión.

Es, por ello, por lo que se estudiaron los suelos desarrollados sobre la cangagua, para así poder prever soluciones a sus problemas.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se ha muestreado un perfil de suelo de la Sierra Ecuatoriana, en la provincia de Pichincha, cerca de Pintag (2.740 m. de altitud), fisiográficamente en un área denominada fondo de hoyo o cuenca sedimentaria, con topografía ligeramente ondulada, vegetación incipiente y bajo ren-

(*) Perteneciente al Ministerio de Agricultura de Ecuador.

dimiento agrícola, siendo su material original deposiciones volcánicas (tobas, cenizas y coluvios), para ser su drenaje interno malo y haber fuerte erosión. El clima está marcado por una temperatura media anual de 14° C y una precipitación media anual de 1.100 mm. distribuidos a lo largo de una estación lluviosa de ocho-nueve meses y una estación seca de tres-cuatro meses.

Perfil San Juanito (Pichincha)

Hor.	Prof. (cm)	Descripción morfológica
A ₁	0- 20 1	Gris muy oscuro a pardo grisáceo muy oscuro (10 YR 3/1,5) (h), grisáceo oscuro a pardo grisáceo oscuro (10 YR 4,5/2) (s); areno arcilloso; estructura en bloques subangulares medios a finos, débilmente desarrollados; ligeramente adherente, ligeramente plástico; muy friable y duro; permeable; abundantes raíces muy finas y finas; presencia de pedotúbulos; límite gradual y ondulado.
AB	20- 45 2	Pardo grisáceo muy oscuro (10 YR 3/2) (h); pardo grisáceo oscuro (10 YR 4/2) (s); arcillo arenoso; estructura en bloques subangulares, medios a gruesos, débil desarrollo; no adherente, no plástico a muy plástico, muy friable y duro; permeable; raíces finas, muy finas y medias; límite claro y plano.
B ₂₁	45- 70 3	Gris muy oscuro (10 YR 3/1) (h), pardo grisáceo oscuro (10 YR 4/2) (s), frecuentes manchas negras (10 YR 2,5/1) (h) y negras (2,5 Y 2/0) (s); arcillo arenoso; estructura en bloques subangulares, medios a gruesos, de débil desarrollo; ligeramente adherente, ligeramente plástico, muy friable y duro; cutanes zonales, delgados, de arcilla; permeabilidad lenta; algún nódulo duro y esférico; muy pocas raíces, muy finas; límite abrupto y plano.
B ₂₂	70- 95 4	Negro (7,5 YR 2,5/0) (h), negro (10 YR 2,5/0) (s); arcilloso; estructura poliédrica, que se descompone en láminas, gruesa a muy gruesa, de fuerte desarrollo; adherente, plástico, muy friable y duro; cutanes continuos, espesos, de arcilla; permeabilidad muy lenta; raíces comunes, muy finas y finas; límite gradual e irregular.
B ₃	95-150 5	Gris muy oscuro a pardo grisáceo muy oscuro (10 YR 3/1,5) (h); pardo grisáceo oscuro a pardo grisáceo muy oscuro (10 YR 3,5/2) (s), con manchas negras (10 YR 2,5/1) (h) y negras (10 YR 2,5/1) (s); arcilloso; estructura poliédrica media a gruesa, de desarrollo moderado; ligeramente adherente, ligeramente plástico, muy friable y duro; cutanes discontinuos, moderadamente espesos, de arcilla; muy pocos nódulos, pequeños, duros, esféricos; muy pocas raíces, muy finas y finas.

Hor.	Prof. (cm)	Descripción micromorfológica
A ₁		Humus mull. Aglomeroplásmico. Silasépico e isotico. Formas redondeadas en conjuntos de granos del esqueleto, asociados a veces a huecos con restos de raíces. Transcutanes y nódulos asociados, con halos glébulares. Tales formas redondeadas se asocian a comienzos de nódulos y concreciones de mayor tamaño; micronódulos de Mn. Planos de unión y quebrados, y menos

Hor.	Descripción morfológica
	oblicuos; metahuecos abundantes. Algún cután en el interior de alguna concreción. Líneas rectas de acumulación de granos del esqueleto. Hay cuarzos y feldespatos abundantes y frescos, y ferromagnesianos más o menos alterados. A más aumentos ya se observan pequeños dominios orientados de arcilla, tipo insepíc, especialmente en los transcutanes. Hay vidrios volcánicos abundantes de tamaño grande, superior a arena gruesa, medianos y pequeños. A más aumentos hay tendencia a cutanes de difusión, aunque no orientados.
AB	Agglomeroplásmico con cierta tendencia porfirósquélica. Vo-silasépica (granos limo), aunque el plasma es isotico. Predominio de formas redondeadas de plasma y granos del esqueleto individualizados en la masa del suelo, formando la totalidad del horizonte; tales formas, a veces, tienen tendencia alargada. Hay planos quebrados, límites de las formas redondeadas, número apreciable de planos oblicuos e incrementando los aumentos hay gran número de planos de unión. Las situaciones redondeadas tienen centro, a veces más oscuro; hay diversos estadios de nódulos y concreciones asociados a tales situaciones redondeadas. Transcutanes y algún cután, muy raro, casi papula, de difusión-iluviación. Algún estriotúbulo, buena actividad biológica. Los cutanes están en la parte baja de los pedotúbulos (tendencia causépica). Hay vidrios volcánicos medios y pequeños. Hay mayor contenido de nódulos y concreciones que en el caso anterior.
B ₂₁	De agglomeroplásmico a porfirósquélico. Aumentan los planos oblicuos, disminuyendo sensiblemente el resto. Hay transcutanes gris oscuros, mientras en el A ₁ son rojizos. Aumenta el número de metahuecos, apareciendo algunos grandes y oblongos con cutanes ferriarillosos. Hay nódulos con halos glebulares y los de mayor tamaño, junto con las concreciones, están individualizados en la masa. Hay conjuntos de granos del esqueleto con tendencias redondeadas, así como líneas de acumulación. Se observa mayor cantidad de vidrio volcánico de tamaño medio que en el caso anterior, en diverso estado de alteración. Es isotico en la masa, silasépico por los granos y vosépico por los cutanes; tendencia causépica. Menor número de nódulos y concreciones que en el caso anterior.
B _{22t}	Agglomeroplásmico con tendencia porfirósquélica. La zona isotica se equipara en cantidad a vosépica de arcilla orientada. Planos oblicuos dominan el conjunto y orthohuecos. Hay menor presencia de granos del esqueleto y de vidrios volcánicos, estando los más grandes ligeramente coloreados. Nódulos y concreciones individualizados de la masa, de todos los tamaños y en menor cantidad.
B ₃	Porfirósquélico. Silasépico voinsépico. Cutanes de iluviación con cierta tendencia residual (vidrios volcánicos alterados con arcilla orientada en su interior). Los cutanes están mejor organizados que en el caso anterior. Hay vidrios volcánicos en más cantidad que en el horizonte anterior, y de tamaño de mediano a grande, medianos y pequeños.

Las determinaciones generales realizadas en estas muestras han sido pH, carbono y nitrógeno orgánico, carbonatos, capacidad de cambio e iones cambiables, elementos asimilables, y análisis mecánico, según los métodos que se siguen en el C. E. B. A. C. (González et al., 1968). La difracción de rayos X, análisis térmico diferencial y micromorfología, según es normal en el C. E. B. A. C. (Olmedo, 1971). La curva de pF, según se hace en la sección de Física de Suelos del C. E. B. A. C. (Martín Aranda, 1977). La mineralogía de arenas en la fracción entre 0,2

y 0,02 mm., separándose los pesados con bromoformo y montándose con bálsamo de Canadá.

RESULTADOS Y COMENTARIOS

En la tabla I se recogen los datos químicos, indicando es un suelo alcalino en superficie, que se neutraliza seguidamente, para alcalinizarse de nuevo en profundidad, aunque su contenido en carbonatos es nulo, indicando que el material original es volcánico básico.

TABLE I

Hozte. Mtra.	pH		M. O. %	C %	N %	C/N	CO ₃ ⁼ %	cat. camb. meq/100 g.				T
	H ₂ O	CIK						Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	
A ₁ 1	7.8	6.7	2.59	1.50	0.11	13.6	0	0.05	0.2	9.6	3.8	14.75
AB 2	6.8	5.6	2.31	1.34	0.1	13.4	0	0.05	0.2	9.6	3.8	14.75
B ₂₁ 3	7.1	5.7	1.31	0.76	0.06	12.6	0	0.05	0	11.—	7.5	19.68
B ₂₂ ^t 4	7.4	6.3	1.33	0.77	0.06	12.8	0	0.5	0.25	15.—	18.2	34.46
B ₃ 5	7.9	6.6	1.4	0.81	0.06	13.5	0	0.5	0.25	13.—	8.—	22.73

El contenido de materia orgánica debe considerarse con prevenciones, pues el elevado contenido de ferromagnesianos de este suelo (tabla I), con sus contenidos en hierro ferroso, colabora al valor total de la materia orgánica, al determinarse mediante la oxidación del material reducido que se encuentra en el suelo. El contenido no es elevado, disminuyendo con la profundidad, dando la relación C/N valores próximos a 13, indicando mineralización no muy intensa, aunque esta relación se encuentra afectada, asimismo, por la presencia de ferromagnesianos, por lo que la mineralización es menor de lo que parece.

La capacidad de cambio no es muy elevada en superficie (14 meq/100 gr.), aumentando con la profundidad —máximo en el B₂₂ (34,5 meq/100 gr.)—, paralelo al aumento en el contenido de arcilla (tabla I). El porcentaje de saturación es siempre superior al 90 por 100, siendo el calcio el ión dominante, excepto en el horizonte B₂₂, en que lo es el magnesio, debido a la presencia de ferromagnesianos.

En cuanto a los iones asimilables puede decirse que en superficie se encuentran a un nivel adecuado, aunque algo bajo, los contenidos de fósforo, potasio y magnesio, estando bien el calcio. En el resto de los horizontes, sin embargo, caen espectacularmente los contenidos de fósforo y potasio, no así los de calcio y magnesio, que aunque disminuye

el primero inmediatamente, cuando aumenta la profundidad se incrementan los contenidos de ambos.

Esto parece indicar que la materia orgánica presente en superficie aporta el fósforo y potasio asimilables y, al desaparecer ésta, disminuyen tales contenidos espectacularmente; el aumento de Ca y Mg, con la profundidad, se explica por la alteración de los ferromagnesianos.

Así pues, la fertilidad química de este suelo es baja, indicando la necesidad de adiciones periódicas de materia orgánica y de abonos minerales que permitan, al menos, el mantenimiento de los niveles existentes en superficie y que pase a la neutralidad el pH. Si no se siguieran tales recomendaciones se prevé una caída rápida de los contenidos de

Datos químicos generales y análisis mecánico

% S.	El. Asim. mg/100 g.				Arena Gr. %	Arena Fina %	Limo %	Arcilla %	Hume- dad %	Total	Clase Textural
	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg							
92	40	38	232	38	13.7	47.37	16.85	18.75	3.—	99.67	Areno Arcilloso
92	4	9	136	55	10.11	40.23	17.25	27.50	4.3	99.4	Arcillo Arenoso
94	3	8	141	63	10.96	28.75	25.50	32.—	4.7	101.9	Arcillo Arenoso
91	4	11	259	127	11.25	14.50	22.—	48.5	10.—	106.25	Arcilloso
96	3	9	223	105	10.98	20.63	19.25	46.5	8.—	105.4	Arcilloso

fósforo y potasio, siendo menor la de los contenidos de calcio y magnesio.

Las propiedades físicas se recogen en la tabla I y en la fig. 1, donde es posible observar se pasa de suelo arenoso arcilloso (triángulo texturas Demolon, Gaucher, 1968) en superficie, a arcilloso en el horizonte B₂, superando la razón de estos contenidos de arcilla el valor 1,5, por lo que se puede considerar horizonte argílico tanto en la clasificación francesa como en la Soil Taxonomy. Tal graduación influye directamente en las propiedades físicas y químicas.

La densidad aparente en los horizontes AB y B₂₁ es de 1,39 y de 1,30 gr/cm³; valores normales para un suelo volcánico mineral de las texturas mencionadas.

En cuanto a los contenidos de humedad, a los diferentes pF es mayor en los horizontes profundos e inferior en los superficiales, función directa del contenido de arcilla. El agua útil para las plantas, diferencia de los contenidos de humedad a pF 2,7 y pF 4,2, es bastante elevada en todos los horizontes, típico de los andosoles. Tal cosa puede ser síntoma de problemas a la hora de rehumectarse el suelo una vez alcanzado el punto de marchitez.

De los análisis de difracción de rayos X (tabla II) y de los análisis

térmicos diferenciales (fig. 2) es factible deducir presencia muy débil de posibles minerales de la arcilla.

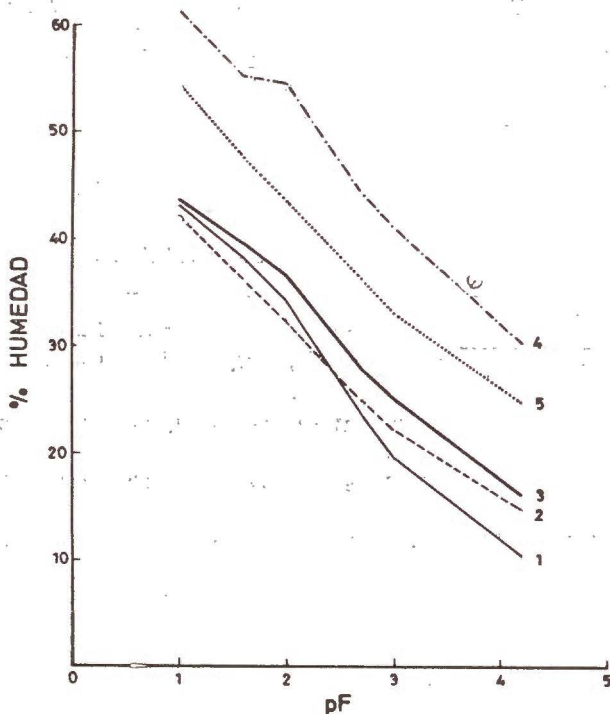


Fig. 1.—Curvas pF muestras 1, 2, 3, 4 y 5 correspondientes a los horizontes A_1 , AB, B_{21} , B_{22}^t y B_3 .

Hay abundancia de feldspatos bien cristalizados (difracciones a 3,18, 3,2, 4, 3,63 y 3,55 Å o endotérmicos a 770° C) y presencia de hornblenda, hiperstena y epidota. Solo en algunos casos hay difracciones de cuarzo (4,26, 3,33 y 1,85 Å). Aparece hematites en todos los horizontes (difracciones a 2,68, 2,71 y 2,79 Å). Parece ser existen indicios de gibsita.

Los materiales amorfos son dominantes (endotérmicos a 135° y 170° C y exotérmicos a 325° y 475° C), apareciendo algunas difracciones que pueden hacer pensar cierta cristalinidad de algún mineral del grupo del caolín (4,43, 3,75 y 7,0 Å y endotérmicos a 510° y 545° C).

Con agregados orientados parece deducirse tendencias ílíticas y montmorilloníticas (difracciones a 10 y 12,5 Å).

En cuanto a la mineralogía de arenas (tabla III) se tiene que el contenido de minerales pesados es del 20 por 100 en todos los horizontes. Hornblenda e hiperstena son los más abundantes en tal fracción, observándose aumentan con la profundidad, especialmente en el horizonte B_{22} , pareciendo indicar discontinuidad.

Muy interesante es el aumento de epidota con paralela disminución

TABLA II

Difracciones e intensidades de los diagramas de rayos X (polvo y agregados orientados)

A ₁ (polvo)		AB (polvo)		B ₂₁ (polvo)		B ₂₂ t (polvo)		B ₃ (polvo)		B ₂₁ (a. o.)		B ₂₂ t (a. o.)	
d (Å)	I/I ₀	d (Å)	I/I ₀	d (Å)	I/I ₀	d (Å)	I/I ₀	d (Å)	I/I ₀	d (Å)	I/I ₀	d (Å)	I/I ₀
8.66	d	11.04	d	8.83	m	14.71	d	12.61	d	12.98	d	14.71	d
7.—	(banda) m	8.83	md	7.68	(banda) f	11.06	md	9.81	md	10.51	m	11.26	(banda) m
6.32	d	7.36	(banda) m	4.43	(banda) mf	9.11	d	8.83	md	8.26	m	11.—	d
6.14	m	4.89	md	4.34	m	7.68	(banda) m	7.—	(banda) m	7.55	(banda) f	10.39	(banda) f
4.43	(banda) mf	5.21	md	4.26	d	6.38	d	5.3	d	7.24	m	10.15	m
4.28	d	4.43	(banda) mf	4.03	(banda) f	6.23	md	4.97	md	6.5	md	11.32	m
4.—	f	4.34	m	3.78	d	5.53	md	4.81	md	5.53	d	8.83	d
3.7	md	1.14	md	3.58	md	4.92	md	4.43	(banda) mf	4.92	d	7.89	(banda) mf
3.63	d	4.03	m	3.32	d	4.43	(banda) mf	4.28	md	4.45	md	7.75	mf
3.18	f	3.73	d	3.20	(banda) f	4.41	f	4.03	d	4.22	md	7.43	f
3.13	m	3.55	md	3.18	m	4.28	m	3.63	d	4.03	f	5.53	md
2.94	d	3.32	md	2.92	d	4.03	f	3.83	md	3.83	md	4.97	md
2.82	md	3.18	(banda) f	2.79	d	3.76	m	3.18	f	3.76	m	4.74	md
2.69	m	2.79	md	2.71	md	3.55	m	2.97	d	3.63	(banda) m	4.43	md
2.50	m	2.5	(banda) d	2.5	(banda) d	3.34	(banda) f	2.69	m	3.34	m	3.64	f
2.01	md	2.36	md	2.4	md	3.13	d	2.5	(banda) m	3.2	mf	3.5	(banda) mf
1.48	(banda) m	1.98	md	2.—	(banda) md	2.5	(banda) m	2.37	md	3.18	f	3.32	m
		1.85	d	1.84	d	2.31	d	1.77	m	2.93	d	3.25	d
		1.49	(banda) d	1.68	(banda) d	2.15	(banda) d	1.66	d	2.83	d	3.21	f
				1.49	(banda) m	2.—	md	1.49	(banda) m	2.67	md	3.18	m
						1.87	md					2.90	md
						1.68	(banda) md					2.79	md
						1.49	(banda) f						

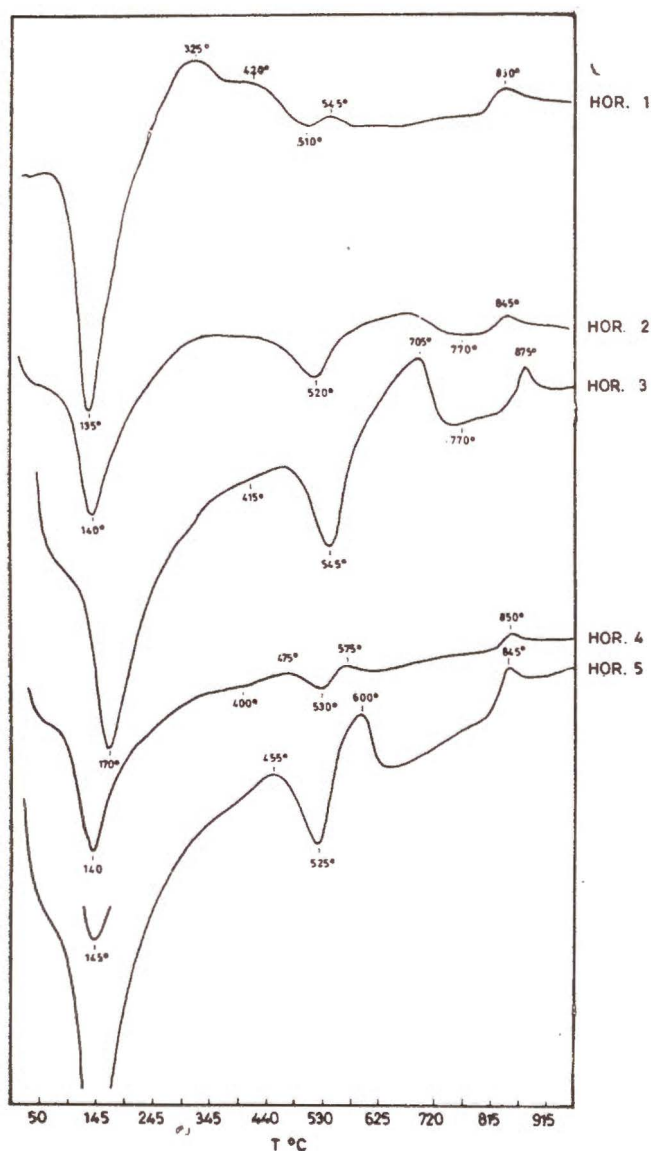


Fig. 2.—Diagramas de A. T. D. de las muestras 1, 2, 3, 4 y 5 correspondientes a los horizontes A₁, AB, B₂₁, B_{22t} y B₃.

de hiperstena en los horizontes AB, B₂₂ y B₃; en los dos últimos no aumenta epidota sino opacos.

Los minerales suelen aparecer claros y transparentes, y con bordes agudos, estando en menor proporción los alterados.

La micromorfología se comentará en la discusión, al tomarse como base para la misma.

TABLA III

Mineralogía de la fracción arena (0,2-0,02 mm.)

Horizonte	A ₁	AB	B ₂₁	B ₂₂ t	B ₃
Mineral	%	%	%	%	%
LIGEROS	69.57	79.79	82.65	82.31	79.54
PESADOS	20.43	20.21	17.69	17.69	20.46
Opacos	3.53	12.3	9.61	17.09	12.2
Actinolita	0.59	—	—	—	—
Anatasa.....	—	0.56	—	—	—
Andalucita	7.64	12.3	10.74	1.90	3.66
Augita.....	2.94	—	—	—	—
Broquita	1.18	1.68	1.70	0.63	2.44
Casiterita.	0.59	0.56	—	—	—
Circón	1.76	0.56	1.13	2.53	1.83
Clinozoisita... ..	0.59	—	—	—	—
Diópsido	7.06	6.71	6.22	2.53	4.88
Dumortierita.....	—	0.56	—	—	—
Epidota	11.76	13.42	9.61	1.9	6.1
Estaurolita	0.59	—	—	—	—
Hiperstena	18.82	12.86	23.73	24.69	18.91
Hornblenda.....	18.23	25.15	23.73	43.04	40.26
Monacita.....	2.35	0.56	—	—	—
Moscovita.....	2.35	—	0.56	1.9	—
Olivino	4.7	3.91	3.96	0.63	1.83
Rutilo.....	4.12	—	—	—	—
Silimanita	—	—	—	—	0.61
Titanita.....	7.64	7.83	0.09	1.9	6.1
Topacio.....	1.76	1.12	3.96	1.26	0.61
Turmalina.	1.18	—	—	—	—
Tremolita.....	0.59	—	—	—	—
Zoisita.....	—	—	—	—	0.61

DISCUSIÓN

En una topografía casi plana de la región Interandina Ecuatoriana, en la provincia de Pichincha, y sobre materiales volcánicos (duripán), se encuentra desarrollado determinado tipo de suelo, dedicado a cultivo y pastos.

Mediante la micromineralogía se detectan dos niveles de acumulación perfectamente diferenciados: el superficial, que abarca los tres primeros horizontes, y el profundo con el resto del perfil.

Tal diferencia se acusa especialmente en los contenidos en hornblenda, hiperstena, opacos, andalucita y epidota.

En la parte superior, el contenido de hornblenda e hiperstena es próxima al 40 por 100, mientras en profundidad supera el 60 por 100, siendo inversa la situación en la andalucita: contenido del 10 por 100 en la parte superior y del 2 por 100 en la inferior. Tales distribuciones de minerales confirman la discontinuidad mencionada.

Muy interesante es observar las relaciones hornblenda-hiperstena a epidota y opacos en ambas situaciones, ya que estos dos últimos deben ser las resultantes de la meteorización de los primeros, habiendo zonas en que opacos predominan sobre epidota indicando puntos de una más intensa meteorización.

Teniendo en cuenta la forma, nitidez y homogeneidad de los granos, puede decirse que, al menos superficialmente, tal material es transportado mediante agua, siendo difícil determinar la importancia del aporte eólico en el solum, por los procesos de meteorización a que está sometido.

En cuanto a vidrios volcánicos hay cantidad en superficie, de muy diversos tamaños, desde mayor de arena gruesa a limo; los grandes están coloreados, índice de su basicidad. En el horizonte AB sólo hay grandes y pequeños (arena gruesa y limo), para en el B₂₁ ser medianos y pequeños, y casi desaparecer en el B₂₂, lo que indica la fuerte alteración que se produce en este horizonte, con la correspondiente presencia de cutanes residuales de meteorización. Aumentan en el horizonte B₃.

El contenido de materia orgánica es bajo, teniendo relación C/N próxima a 13. Se confirma humus mull mediante observación microscópica. El contenido de materia orgánica dado es superior al real, pues el elevado número de ferromagnesianos que existen modifican tal valor por la presencia de hierro ferroso.

La estructura y microestructura del suelo presentan las siguientes evoluciones:

De bloques subangulares medios y finos, débilmente desarrollados; a bloques subangulares medios a gruesos, débilmente desarrollados; poliédrica media a gruesa, de fuerte desarrollo con subestructura laminar marcada; y a poliédrica media a gruesa, de moderado desarrollo, como estructura de los horizontes A₁, AB, B₂₁, B₂₂† y B₃, respectivamente.

En cuanto a microestructura pasa de aglomeroplásmico con planos

de unión y quebrados y menos oblicuos, con metahuecos abundantes; a aglomeroplásmico con cierta tendencia porfirósquélica, con planos quebrados —límite de las formas redondeadas—, número apreciable de planos oblicuos y gran número de microplanos de unión en el interior de las formas redondeadas; a aglomeroplásmico a porfirósquélico, con incremento de planos oblicuos y metahuecos, algunos de los cuales son grandes y oblongos a los que se asocian cutanes; a aglomeroplásmico con tendencia porfirósquélica, con planos oblicuos, como huecos dominantes, y planos de unión, con algunos ortohuecos; a porfirósquélico, con planos oblicuos y ortohuecos, en los horizontes A_1 , AB, B_{21} , B_{22t} y B_3 , respectivamente.

La estructura se desarrolla con el incremento de la profundidad, que coincide con el aumento del contenido de arcilla; ha de hacerse constar que la estructura poliédrica del horizonte B es muy pequeña frente a las subangulares superficiales, por lo que el perfil estructural no es normal.

Igual cosa puede observarse en la microestructura, en que la aparición de metahuecos grandes y oblongos, con cutanes, en el horizonte B_{21} , seguido por planos oblicuos y de unión, con cutanes, en el B_{22} , todo ello tras las formas redondeadas de los horizontes superiores con planos oblicuos, quebrados y de unión asociados explican el comportamiento hídrico de estos suelos, como muestra la curva de pF.

Tanto el perfil estructural como el microestructural son anormales, explicando los problemas de rehúmedación que presentan estos suelos, ya que hay predominio de poros que favorecen la eliminación del agua de gravedad, por lo que el agua no se estabiliza lo suficiente en los sucesivos horizontes para permitir una adecuada rehúmedación. Tal situación se debe a la presencia de alofanas que favorecen tal tipo de estructura. La solución a tal problema puede ser una labor profunda del suelo que permita romper tal sistema de poros, o bien esperar a la rehúmedación natural para utilizar el suelo con fines productivos.

La cristalinidad de los minerales de la arcilla es muy pobre, existiendo predominio de alofanas y cierta tendencia a minerales del grupo del caolín, excepto en el horizonte B en que además hay tendencia a cristalizar ilita y montmorillonita, conforme con la reacción del medio.

Tal cosa es acorde con la anisotropía de los cutanes del horizonte B_{22t} , en el que llegan a ocupar casi la mitad de la masa; son de iluviación, algo de difusión y residual de meteorización (Olmedo, 1975). En los horizontes B_{21} y B_3 es bastante menor la presencia de cutanes. En el horizonte AB se observan ciertas acumulaciones cutánicas de tendencia causéptica. En superficie se observan transcutanes (Olmedo, 1975).

En cuanto a nódulos y concreciones son importantes en superficie. En el horizonte A_1 se observa gran número de situaciones redondeadas de conjuntos de plasma y granos del esqueleto, con tendencia a tener centro, a veces más oscuro hasta la concreción de tamaño equivalente a las formas redondeadas; gran número de éstas tienen centro, pero no oscurecimiento. En el horizonte AB aumentan espectacularmente el número de formas redondeadas y de nódulos y concreciones, de tal forma

que ocupan toda la masa del horizonte. En estos horizontes es donde se encuentra más desaturado el complejo de cambio, lo que suele acompañar a la hidromorfía (Olmedo, 1975). Hay, asimismo, estriotúbulos y otros pedotúbulos, lo que indica actividad biológica. Bajo algunas formas redondeadas, con concreciones, en el horizonte AB, hay formas cutánicas con tendencias causépicas (Olmedo, 1977), índice de iluviación, de ahí la nominación del horizonte, pareciendo indicar cierta disolución de las concreciones. En los horizontes profundos casi desaparecen nódulos y concreciones. Puede hablarse, por tanto, de una hidromorfía superficial con tendencia a desaparecer, debido al lugar de toma de muestra, o bien una génesis policíclica.

La desaturación es, asimismo, máxima en el horizonte $B_{22}t$, donde hay máxima acumulación cutánica, indicando la necesidad de tal insaturación para producirse la movilización de arcilla que origina los cutanes (Olmedo, 1975).

En cuanto a clasificación, se tiene que el horizonte A_1 , por su dureza cuando seco, es un epipedón ócrico, y el $B_{22}t$ por la acumulación de arcilla y presencia de cutanes es un horizonte argílico, y como su régimen de humedad es ústico y el complejo de cambio casi saturado hace se considere este suelo Udic Haplustalf (Soil Taxonomy, 1973), que para mayor especificación se le considera andic por su carácter andosólico: clasificándose, por tanto, como Andic Udic Haplustalf. En la Clasificación Francesa (1967) se considera, a pesar de su horizonte argílico, Andosol modal de país tropical, debido a la presencia de minerales de tendencia íltica y montmorillonítica en el mencionado horizonte $B_{22}t$.

La fertilidad de estos suelos viene marcada, ante todo, por la hidromorfía superficial que presenta, factor limitante en las zonas más bajas y llanas, aunque en el perfil estudiado tal hidromorfía es subactual, como indican las situaciones causépicas del horizonte AB, debido a su situación de borde de cárcava, desapareciendo, por tanto, casi completamente la hidromorfía, incrementándose el lavado. Este problema se solventa con un sistema adecuado de drenajes.

El balance agua-aire se ha podido observar no es normal en este suelo, por la presencia de alofanas que originan distribución de poros que permite la eliminación rápida del agua de gravedad, impidiendo la rehúmedación rápida del suelo. La curva de pF recoge tal efecto por el bajo valor del punto de marchitez en los horizontes superiores, lugar en que se produce tal fenómeno. La capacidad de retención de este suelo es elevada, típico de los suelos con alofana. Una labor profunda del suelo con vertedera permitirá romper tal sistema de poros, que con un posterior pase de rotovator o labor similar, permitirá solventar tal problema. Teniendo en cuenta es una zona donde la mecanización es imposible, se aconseja, entonces, sembrar no al comienzo del período de lluvias, sino después de una primera fase de lluvias que haya permitido la rehúmedación natural del suelo, y tras su oreo, se siembra, previa labor del suelo con los medios que se disponen.

Solventados los problemas físicos del suelo se podrán abordar los químicos, campo en el que se ha podido determinar reacción ligera-

mente alcalina en superficie, junto con capacidad de cambio baja (Ca como ión cambiante dominante) y contenido adecuado de nutrientes, reservas que disminuyen espectacularmente cuando pasase al horizonte AB. El contenido de materia orgánica es bajo, siendo el humus mull. El elevado pH del horizonte superficial se deberá, en parte, a la insolubilización del fósforo.

Como problema más acuciante, en este sentido, se tiene la poca reserva de nutrientes de que se dispone tanto N, como P y K, por lo que serán necesarias adiciones de abonos que permitan mantener, al menos, un mínimo de nutrientes en la capa agrícola, y que el Fósforo merece atención aparte, pues la facilidad con que se insolubiliza en estos suelos aconsejan adiciones anuales bajo formas que en vez de insolubilizarse se retrograden y solubilizan al pH del suelo.

En la zona en que se encuentra este tipo de suelos es difícil la aplicación de abonos minerales, aconsejándose rotación de leguminosas con el maíz, monocultivo de la zona. La fase de las leguminosas se utiliza como abono verde, o bien para pasto, aportando este cultivo nutrientes al suelo, mientras que la fase del maíz esquilma el suelo. A pesar de todo, es necesaria la adición de abonos, debido al alto consumo del maíz; por ejemplo, de un complejo tipo 10-10-10 sería necesario adicionar un mínimo de 500 Kg/Ha. para obtener una mejora importante, y siempre que las lluvias fueran adecuadas.

Resumiendo, si hubiera medios, se aconseja una primera labor profunda previa a las lluvias, con labor superficial previa a la siembra, y adiciones de abonos que permitan mantener un nivel de nutrientes mínimo en el suelo; si es zona con hidromorfia, construir un sistema de drenaje adecuado. Si no hay medios adecuados, caso actual, lo idóneo será efectuar una labor somera previa a las lluvias, que una vez iniciadas y rehumecten el suelo y oree, se le dará otra somera labor previa a la siembra; para la fertilización se aconseja efectuar un ciclo alternante de leguminosas y maíz, para en esta fase adicionar el poco estiércol de que se disponga; sería necesario en tal fase adicionar además un mínimo de abonos minerales.

Para evitar la erosión se aconsejan labores que sigan líneas de nivel y, en las zonas de fuerte topografía, sembrar plantas adecuadas que retengan el suelo.

CONCLUSIONES

La mineralogía da dos capas de acumulación diferentes dentro del suelo, aunque formen parte de un solo conjunto.

Dos intensidades de meteorización: en superficie (tres primeros horizontes) hornblenda e hiperstena a epidota, y en profundidad los mismos minerales a opacos.

Los vidrios volcánicos disminuyen en tamaño y cantidad con el aumento de la profundidad, alcanzándose el mínimo en el horizonte argílico ($B_{2,t}$): máxima alteración.

Anormalidad en los perfiles macro y microestructurales, origen de la inercia en la rehumectación; para solventar tal problema, se aconsejan labores profundas que rompan tal porosidad. La causa de tal situación está en las alofanas.

Predominio de alofanas entre los minerales de la arcilla, existiendo muy poca cristalinidad en los minerales del grupo del caolín presentes. También hay cierta tendencia a ilita y montmorillonita en el horizonte B_{22t} .

Presencia de formas redondeadas en los dos horizontes superficiales, asociadas a veces a nódulos difusos, nódulos y concreciones. Estas son máximas en el horizonte AB, desapareciendo en profundidad. En el horizonte AB hay situaciones causépticas. En los horizontes superficiales hay pedotúbulos.

Los horizontes superficiales y el argílico son los más desaturados, coincidiendo con formas redondeadas y máxima presencia de cutanes.

La gradación cutánica es transcutanés en superficie, presencia causéptica en el AB, argilanes de hueco en el B_{21} , presencia masiva de cutanes en el B_{22t} , a presencia de cutanes de huecos en el B_3 .

Este suelo se clasifica como Andic Udic Haplustalf (Soil Taxonomy, 1973), y como Andosol modal de país tropical (Clasificación Francesa, 1967).

La fertilidad del suelo está marcada por hidromorfía superficial (capa colgada), hoy día subactual. La fertilidad química es normal, algo baja, en superficie, disminuyendo espectacularmente en el segundo horizonte. Se aconsejan adiciones mínimas de nutrientes para mantenimiento, al menos, de los niveles existentes en superficie.

RESUMEN

Se caracteriza un suelo del Pasillo Interandino Ecuatoriano desarrollado sobre materiales volcánicos (Cangagua). Suelo ligeramente alcalino con hidromorfía superficial (capa colgada) subactual. Epipedon ócrico y horizonte argílico en el que aparte alofanas, minerales mal cristalizados del grupo del caolín, hematites y algo de gibsita hay tendencias iliticas y montmorilloníticas, lo que permite clasificarlo como Andosol modal de país tropical (Clasificación francesa) y Andic Udic Haplustalf en Soil Taxonomy. Se dan normas de manejo del suelo para solventar problemas de física y química de suelo.

Centro de Edafología y Biología Aplicada del Cuarto. Sevilla.

BIBLIOGRAFÍA

- DUCHAUFOUR, PH. (1977). Atlas ecológico de los suelos del mundo Toray-Masson, Barcelona (España).
- GAUCHER, G. (1968). *Traité de pédologie agricole: Le sol*. Dunod, París.
- GONZÁLEZ, F. et al. (1968). Equilibrio nutritivo en variedades de olivar de mesa de la provincia de Sevilla (España). Rapp del II Coloquio Eur. y Med. sobre el control de la Alim. de las Plantas Cultivadas. Sevilla, 189-213.
- LÚZURIAGA, C. (1975). Determinación del material cementante en duripanes de origen volcánico (cangagua) del Ecuador. XII Curso Internacional de Edafología. Centro de Edafología del Cuarto (Sevilla, España).

- MARTÍN ARANDA, J. et al. (1977). Water-related porosity in a typical Sherry vineyard soil. C. E. B. A. C. (Sevilla), 5.º Int. Working-meeting on Soil Micromorphology.
- OLMEDO, J. L. (1971). Contenido, distribución y formas del hierro en suelos de Andalucía Occidental. Facultad de Ciencias, Universidad de Sevilla, tesis doctoral.
- OLMEDO, J. L. et al. (1975). Estudio micromorfológico de una catena de vertisoles en la provincia de Sevilla (Sur España). Anales de Edafología, XXXIV, 745-763.
- OLMEDO, J. L. (1977). Génesis de los suelos rojos del Centro-Oeste de España, 5.º Int. Working-meeting on Soil Micr., Granada.
- OLMEDO, J. L. (1976). Génesis de los suelos rojos del Valle del Guadalquivir: evolución y degradación. An. Edaf., XXXV, 71-94.
- U. S. Department of Agriculture. (1973) Soil Taxonomy, Soil Conservation Service, Washington, D. C.

Recibido para publicación: 13-VII-77

EVOLUCION DE LOS MINERALES DE LA ARCILLA EN CUATRO PERFILES DE LA SIERRA DE FRANCIA (SALAMANCA)

p o r

M. LEDESMA *, M. A. VICENTE **, J. GALLARDO ** y J. A. EGIDO ***

S U M M A R Y

EVOLUTION OF CLAY'S MINERALS AT FOUR PROFILES OF THE SIERRA DE FRANCIA (SALAMANCA)

The study examines the state of evolution of the minerals which constitute the fraction of less than 2 microns, in four soils from the northern slope of the Sierra de Francia (Salamanca). These soils derived from metaquartzites with small amounts of surrounding cambrian slates, are situated at different altitud along de same slope, subject to a humid cold climate. The four profiles are: Profil I, humic podsol; Profil II, humic cambisol; Profil III, ortic luvisol; Profil IV, chromic luvisol.

In metaquartzites there are mica and kaolinite, and in slates kaolinite, mica, clorite and a little amount of feldespatos. In profiles I and II wich are subjected to a process of podsolization, the inherited mica evolues towards interstratified mica-vermiculite in the horizons A of profil I, and A_{12} and B/C₁ of II, (The horizon A_{11} of profil II is younger formed by accumulation of materials proceeding from the quartzites), and the clorites evolues toward intergrades. Kaolinite is inafected. In profiles III and IV there is a high degree of destruction of mica, because there are a heavy hydrolixes, with an enrichment of Kaolinite. A little part of this kaolinite was originated by neofor- mation. There is also destruction inherited clorite, and evolution toward intergrades, which are well organized interlayer materials.

I N T R O D U C C I Ó N

La génesis y evolución de arcillas en climas templados ha sido ampliamente tratada en los últimos años, siendo numerosos los autores que de una u otra forma han tocado estos problemas (Jackson, 1963; Hétier & Tardy, 1969; Seddoh et al., 1969, 1974; Souchier, 1971; Warembourg et al., 1973; Guerra et al., 1976, etc.; Gallardo et al., 1976; Sánchez Camazano & Ledesma García, 1976). En el caso de las secuencias de suelos pardos ácidos a podsoles, objeto de este trabajo, tam-

* Centro de Edafología del C. S. I. C. de Salamanca (España).

** Centro de Edafología del C. S. I. C. y Departamento de Edafología de la Facultad de Farmacia de la Universidad de Salamanca (España).

*** Centro de Edafología y Departamento de Edafología de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Salamanca (España).

bién la bibliografía es abundante, y de ella puede deducirse que los fenómenos fundamentales en la pedogénesis templada son herencia y/o evolución, llegándose en esta última a partir de filitas primarias a cloritas aluminosas, vermiculitas o minerales hinchables, según se trate de suelos ácidos, podsolizados, o podsoles «sensu stricto» (Lelong et al., 1972). La naturaleza de la roca madre será la responsable de la aparición de gibsita en suelos pardos ácidos, donde cloritas y biotitas evolucionarán hacia intergradados (Espiau & Mercadier, 1976), mientras que en el horizonte A₂ de podsoles aparecerán filosilicatos 2/1 hinchables, como también han puesto de manifiesto entre otros Cjems (1963), Ross & Mortland (1966), Brydon et al. (1968), Sokoleva & Belouseva (1974).

Es evidente que en la evolución de filosilicatos en zona templada (medio por lo general no muy agresivo), hay que tener en cuenta no sólo el tipo, sino también el grado de evolución (Pedro et al., 1975), ya que a menudo la cuantidad del fenómeno evolutivo (grado) es relativamente más importante que la tendencia del mismo (tipo).

Los trabajos de pedología experimental, que en los últimos años se han ocupado ampliamente de la alteración de mica en medio ácido, ponen de manifiesto los mecanismos según los cuales este proceso tiene lugar. En el producto final de la evolución de una filita primaria influirá en primer lugar su naturaleza (Robert & Barshad, 1972), y los factores externos que intervienen en el proceso. Entre éstos; la acción de los distintos ácidos inorgánicos y orgánicos ha sido ampliamente estudiada utilizando como minerales a alterar biotita y flogopita (Robert & Razzaghe, 1974; Vicente et al., 1976, 1977) y sobre la base de estos trabajos puede explicarse el comportamiento de las fracciones ácidas hidrosolubles del suelo. Las fracciones más complejas, fúlvicos y húmicos, son más inactivadas en las primeras fases de la alteración, aumentando esta inactividad con el grado de polimerización. Su papel es, sin embargo, fundamental en otros procesos pedogenéticos, ya que su alto poder de complejación contribuirá al mantenimiento de los cationes en solución y a la distribución de los mismos en el perfil, actuando si su concentración es muy elevada, como inhibidores del proceso de degradación de filitas primarias (Robert & Vicente, 1977).

CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS ESTUDIADOS

Los cuatro suelos objeto de este trabajo se encuentran situados en la vertiente Norte de la Sierra de Francia. El material de partida para todos ellos es metacuarcita Ordovícica, mezclada con cantidades más o menos grandes de las pizarras Cámbricas circundantes. Los tres primeros, desarrollados en una zona de desmembración de la capa rañoi-de, son post-pleistocenos, mientras que el cuarto se encuentra sobre una superficie de erosión y debe datar al menos de Plioceno. La vegetación clímax está constituida por bosque de roble, *Quercus pyrenaica*, pero la zona ha sufrido fuertes deforestaciones con posterior repoblación de *Pinus silvestris* y *P. pinaster*. La acción antropógena ha contribuido a la sustitución de ericáceas *Calluna* y *Erica*, que habían invadido amplias zonas, por césped de gramíneas *Festuca sp.*

En las tablas I, II y III se dan, respectivamente, los datos meteorológicos procedentes de dos observatorios próximos (Garmendía, 1966 y 1967), las características generales y una selección de datos analíticos de los suelos en estudio.

TABLA I

Datos meteorológicos procedentes de dos observatorios próximos a los perfiles

Observatorio	P. mm/año	P. mm en verano	P. mm en invierno	T. media °C	T. máxima °C		T. mínima °C	
					Absoluta	Media	Absoluta	Media
Villanueva del Conde	1455,4	76,4	558,2	14,2	47,0	20,8	— 11,0	7,6
Serradilla del Arroyo	748,5	82,2	239,7	—	—	—	—	—

Perfil I

Situado en El Maillo, puede caracterizarse como Podsol humoferruginoso (FAO, Podsol húmico). Bien direfenciado morfológicamente, es evidente en él la presencia de un horizonte espódico. Bajo la capa de humus inor es posible diferenciar dos horizontes fuertemente ácidos, ricos en materia orgánica, cuya débil transformación hace que la capacidad de cambio no sea demasiado alta. En profundidad se observa fuerte migración de materia orgánica de tipo fúlvico y más polimerizada, con formación de ácidos húmicos y humina extraíble, en un proceso de insolubilización (Duchaufour, 1972). Mientras que el hierro precipita principalmente en el horizonte Bh, el aluminio lo hace en el Bs, paralelamente a los ácidos fúlvicos (Gallardo et al., 1976).

Perfil II

También situado en El Maillo, más bajo que el anterior, pertenece a un Ranker criptopodsolizado (FAO, Cambisol húmico). Con humus moder, es un caso típico de enriquecimiento en materia orgánica por lixiviación lateral. Dado que los suelos inmediatamente por encima son podsoles o podsolizados el suelo conserva una fuerte acidez, pero no aparece en el mismo diferenciación morfológica de podsol. Existe una patente emigración del hierro, acumulándose la sílice libre en el horizonte A₁₂, horizonte que en realidad parece estar encubriendo un AB (Carballas et al., 1967).

Perfil III

Situado en Serradilla del Arroyo, pertenece a un suelo pardo lixiviado (FAO, Acrisol húmico). En situación topográfica más baja que los

TABLE II
Descripción de los perfiles

Perfil n.º	Situación, Altitud y Topografía	Roca madre	Vegetación	Tipo de suelo	Horizonte Profundidad cm.
I	El Maíllo 1505 m. Ladera fuerte (parte alta)	Matacuarcitas con aportes de pizarras	<i>Calluna sp.</i>	Podsol humo-ferruginoso (Humic-Podsol)	A ₀ (0 - 10)
			<i>Q. Pyrenaica</i>		A ₁ (10 - 20)
			Líquenes		A ₂ (20 - 30)
			Muscineas		B _k (30 - 35)
					B _r (35 - 75)
	C ₁ (75 +)				
II	El Maíllo 1500 m. Ladera fuerte	Matacuarcitas con aportes de pizarras	<i>Q. Pyrenaica</i>	Tierra parda centroeuropea (Humic-Cambisol)	A ₁₁ (0 - 20)
			<i>Calluna sp.</i>		A ₁₂ (20 - 60)
			Gramíneas		B/C ₁ (60 +)
			Ericáceas		
III	Serradilla del Arroyo 1100 m. Ladera suave	Matacuarcitas con aportes de pizarras	Gramíneas	Tierra parda lixiviada (Humic-Acrisol)	A (0 - 20)
			Líquenes		B (20 - 40)
			Ericáceas		B/C ₁ (40 +)
IV	El Maíllo 1000 m. Llano	Matacuarcitas con aportes de pizarras	<i>Q. Pyrenaica</i>	Suelo pardo gleizado (Ortic-Acrisol)	A (0 - 20)
			Gramíneas		B ₁ (20 - 50)
					B ₂ (50 - 80)
					B _{2g} (80 +)

TABLA III
Datos analíticos del suelo

Perfil	Horizonte	pH		C %	C/N	M. O. %	AF % de M.O.	AH % de M.O.	Arcilla %	Fe ₂ O ₃ %	Al ₂ O ₃ %	SiO ₂ ‰	T meq/100 g	V %
		H ₂ O	ClK											
I	A ₀	4,4	3,1	10,3	27,8	17,75	6,0	16,1	8,6	1,1	0,6	0,5	35,3	17,0
	A ₁	4,5	3,1	2,45	19,7	4,22	7,7	30,5	8,8	1,3	0,4	1,0	18,2	14,3
	A ₂	4,7	3,4	1,25	17,6	2,15	11,2	31,2	12,6	1,8	0,4	1,5	10,9	12,8
	B _k	4,9	3,7	2,93	20,3	5,05	24,9	32,4	15,0	2,5	0,8	1,0	22,6	6,6
	B _s	5,3	4,3	1,00	16,6	1,72	60,0	21,0	13,7	1,9	1,0	0,6	12,7	6,3
	C ₁	5,4	4,4	0,32	11,4	0,55			9,3	1,4	0,7	0,7	5,5	10,9
II	A ₁₁	4,6	3,4	10,80	23,3	18,62	3,9	17,5	8,0	1,7	0,7	0,7	38,2	22,0
	A ₁₂	4,1	3,0	9,80	22,8	16,89	3,8	18,9	8,6	1,8	0,9	1,2	40,0	10,0
	B/C ₁	4,9	3,8	3,35	19,4	5,77	30,7	30,3	10,0	2,4	1,0	0,5	25,5	5,9
III	A	5,2	4,1	3,47	16,3	5,98	16,0	24,7	15,0	2,0	1,5	1,1	18,2	9,3
	(B)	5,3	4,1	0,94	10,8	1,68	27,0	18,7	18,6	2,4	1,5	1,1	9,1	27,4
	B/C ₁	5,2	4,0	0,32	5,8	0,55	—	—	31,4	4,1	1,8	1,2	8,0	27,5
IV	A	4,9	3,7	1,67	13,6	2,87	16,6	20,4	19,5	4,1	1,2	1,0	12,7	27,6
	B ₁	4,7	3,2	0,61	9,1	1,05	29,9	13,0	41,8	5,1	1,7	0,8	12,7	59,1
	B ₂	4,5	3,2	0,49	7,8	0,84	30,0	11,7	52,5	3,5	1,8	1,0	16,4	28,7
	B _{3g}	4,9	3,5	0,45	7,8	0,77	—	—	47,0	4,3	1,5	0,8	16,4	36,0

anteriores, prácticamente en el cambio convexo de pendiente hacia el piedemonte, su humus es de tipo mull ácido. El contenido en arcilla se incrementa de forma notable a partir de los 40 cm de profundidad donde pueden apreciarse cutanes finos. La composición de la materia humificada nos indica emigración fúlvica y una mayor participación de las fracciones húmicas, que aquí tendrán un origen más complejo, dada la mayor actividad biológica del perfil.

Perfil IV

Situado como los dos primeros en El Maillo, pertenece a un suelo lixiviado gleizado (FAO, Acrisol Ortico); suelo muy profundo y evolucionado con contenido en materia orgánica relativamente bajo y humus de tipo mull ácido, con razón C/N inferior a 15. En profundidad la tierra fina está constituida principalmente por arcilla, estando la máxima acumulación de esta fracción entre los 50-80 cm. En el horizonte B₂₁ comienza a haber dificultad de drenaje, con la consiguiente acumulación de bases que da lugar a una relativa saturación en este horizonte, y aparición de síntomas de gleización, fenómeno que tiene su máxima intensidad en el B_{3g}.

MÉTODOS DE TRABAJO

Las técnicas empleadas en la extracción de la fracción arcilla y determinaciones de capacidad de cambio y análisis químico están descritas en un trabajo anterior (Martín Vivaldi et al., 1961). Para las curvas térmico diferenciales se utilizó un aparato AMINCO con horno vertical, termopares de cromel-alumel y registro automático y para las termogravimétricas una balanza STANTON modelo decimiligrama TR-0. Los análisis röntgenográficos se hicieron en un aparato de difracción Philips, empleando radiación K de Cu, y realizando en todas las muestras los siguientes difractogramas: muestra Mg natural, con glicerol y calentada a 500° C; muestra K natural, calentada a 110° C, 300° C y 500° C. En la arcilla tratada previamente con citrato sódico (Tamura, 1957) se repitieron estas determinaciones.

ESTUDIO MINERALÓGICO DE LAS ARCILLAS

En la figura 1 se dan los difractogramas de la cuarcita y pizarra sanas, así como de la fracción fina del horizonte de alteración de aquéllas. En las figuras 2 y 3, una selección de difractogramas de los distintos horizontes de los suelos en estudio. En la tabla IV los resultados del análisis químico de las arcillas y en la V las capacidades de cambio de cationes y porcentajes de óxidos extraídos con citrato sódico en las mismas.

Del estudio de los distintos datos puede deducirse que las metacuarcitas contienen un mineral a 10 y otro a 7 Å y en las pizarras, los filo-

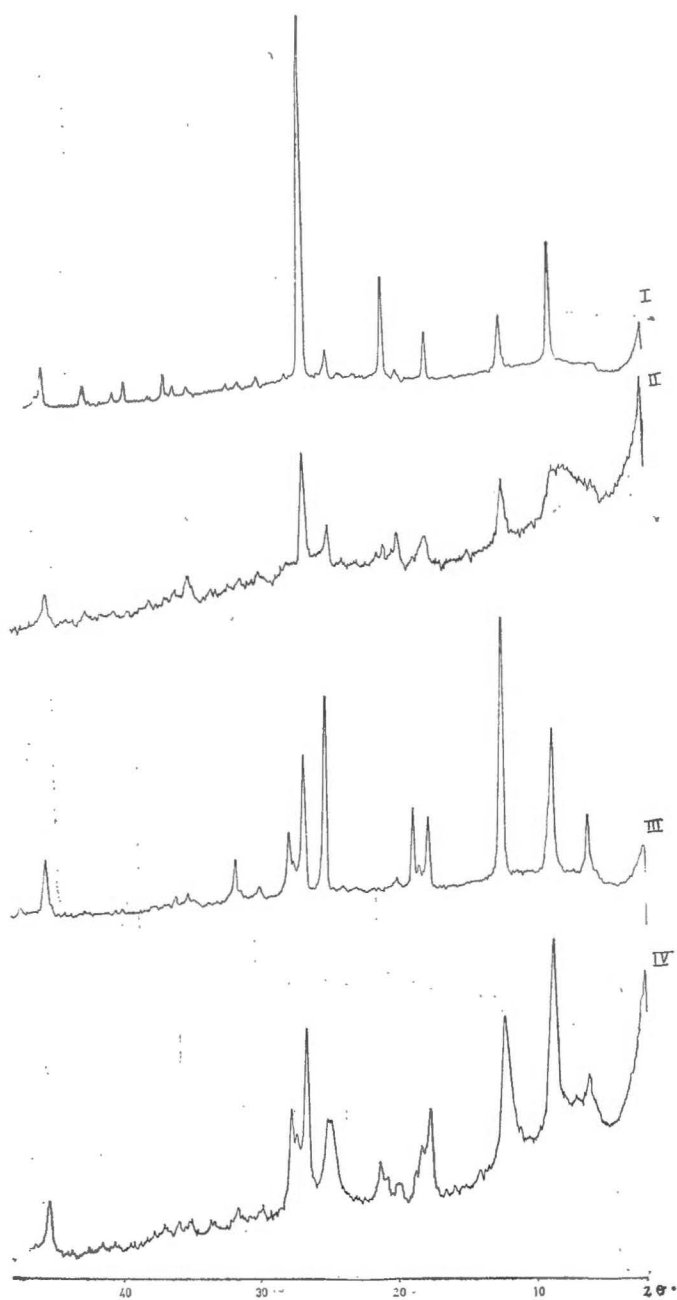


Fig. 1.—Difractogramas: I) Cuarzita; II) Fracción fina de cuarzita alterada;
III) Pizarra; IV) Fracción fina pizarra alterada

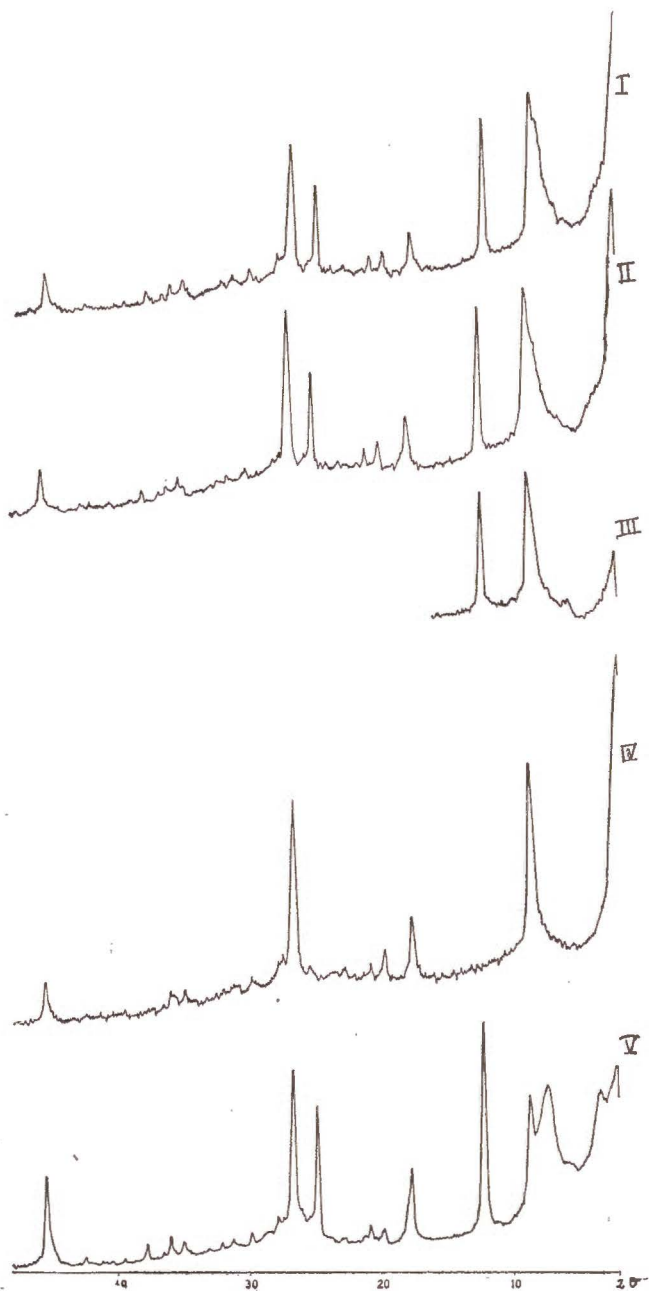


Fig. 2.—Perfil I. Fracción arcilla del horizonte A₀: I) Muestra magnésica; II) Tratada con glicerol; III) Potásica, calentada a 110 °C; IV) Calentada a 500 °C; V) Libre de óxidos (extraídos con citrato)

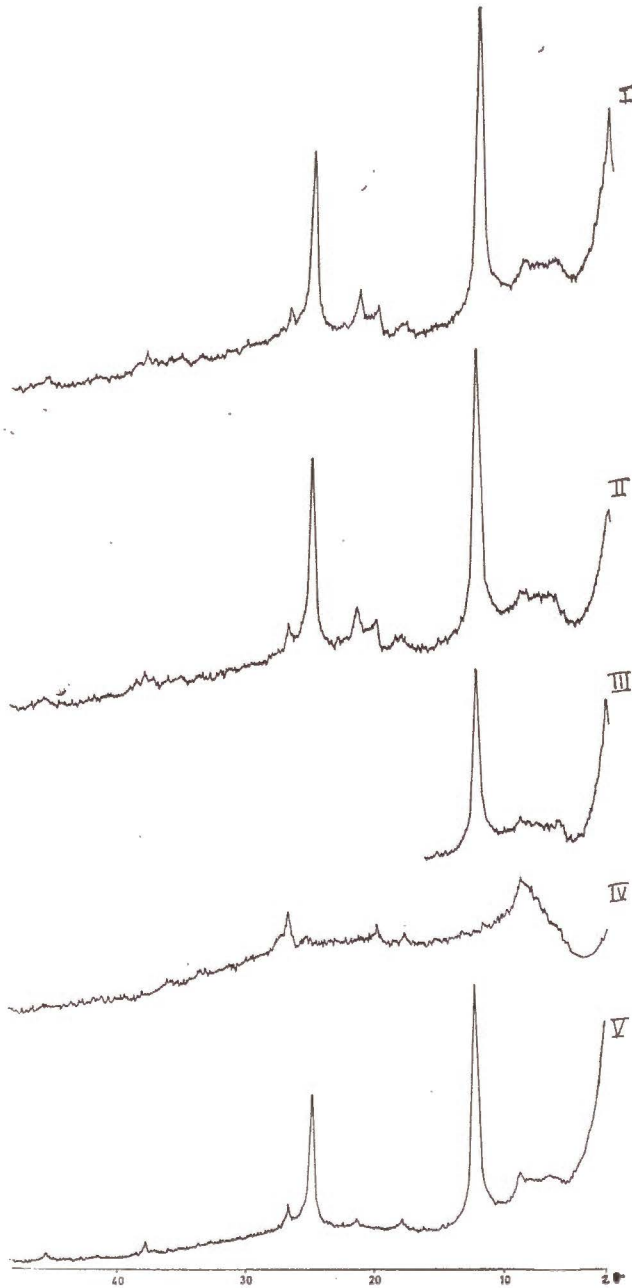


Fig. 3.—Perfil III. Fracción arcilla del horizonte A: I) Muestra magnésica; II) Tratada con glicerol; III) Potásica, calentada a 110 °C; IV) Calentada a 500 °C; V) Libre de óxidos, (extraídos con citrato)

TABLA IV
Análisis químico de las arcillas

Perfil	Horizonte	SiO ₂ %	Fe ₂ O ₃ %	TiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	MgO %	CaO %	Na ₂ O %	K ₂ O %	$\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$	$\frac{\text{SiO}_2}{\text{R}_2\text{O}_3}$	- H ₂ O	+ H ₂ O
I	A ₀	37.75	7.20	0.92	29.70	0.08	0.47	1.08	3.51	2.15	1.80	2.63	15.00
	A ₁	38.98	6.84	0.92	31.48	0.08	0.32	0.51	4.40	2.10	1.79	1.50	12.52
	A ₂	39.30	7.74	0.84	31.81	0.04	0.38	0.76	4.37	2.09	1.76	1.68	9.88
	B _h	36.80	15.12	1.07	24.47	0.16	0.23	0.67	3.86	2.55	1.76	2.33	14.73
	B _s	36.46	9.36	0.63	30.03	0.29	0.24	0.62	3.46	2.06	1.68	3.40	13.67
	C ₁	39.12	9.18	0.72	32.56	0.33	0.26	0.59	3.98	2.04	1.68	2.90	9.54
II	A ₁₁	39.60	9.36	0.71	31.55	0.37	0.24	0.67	4.08	2.13	1.75	2.76	9.55
	A ₁₂	43.38	7.02	0.82	32.22	0.16	0.68	0.46	3.65	2.28	1.95	2.63	7.81
	B/C ₁	40.86	10.08	0.74	31.18	0.04	0.19	0.32	3.94	2.22	1.80	1.28	9.42
III	A	38.74	7.56	0.81	35.51	0.04	0.15	0.40	1.13	1.85	1.59	1.42	12.38
	(B)	38.72	9.90	0.87	30.63	0.49	0.21	0.51	2.26	2.14	1.73	2.21	12.16
	B/C ₁	37.94	10.98	0.81	31.51	0.25	0.25	0.43	1.68	2.04	1.63	2.15	11.59
IV	A	37.96	11.88	0.87	31.55	0.25	0.25	0.51	2.33	2.04	1.60	1.45	11.21
	B ₁	37.62	11.70	0.69	34.71	0.04	0.17	0.27	1.92	1.84	1.48	1.38	10.97
	B ₂	39.18	9.18	0.71	33.91	0.04	0.19	0.27	2.23	1.96	1.63	1.32	10.64
	B _{2g}	39.86	7.56	0.69	35.57	0.04	0.19	0.32	2.45	1.90	1.64	1.07	10.25

silicatos presentes son clorita, mica y caolinita abundante, todos ellos bien cristalizados, junto con una pequeña cantidad de plagioclasas.

TABLA V

Capacidad de cambio y óxidos extraídos con citrato sódico (Tamura) de las arcillas

Perfil	Horizonte	Capacidad de cambio meq/100	Fe ₂ O ₃ %	Al ₂ O ₃ %	SiO ₂ %
I	A ₀	41.40	3.7	1.9	6.0
	A ₁	22.83	1.2	1.3	2.1
	A ₂	23.22	2.9	1.6	2.0
	B _h	24.76	4.9	3.2	3.2
	B _r	28.63	3.7	6.9	3.1
	C ₁	18.96	2.2	4.8	3.1
II	A ₁₁	16.64	2.2	4.9	3.0
	A ₁₂	35.21	2.9	1.1	7.1
	B/C ₁	27.47	3.4	2.7	3.1
III	A	12.84	0.6	2.7	5.1
	(B)	21.33	1.8	4.6	3.0
	B/C ₁	19.72	1.2	3.5	3.2
IV	A	18.72	0.7	3.2	4.0
	B ₁	16.50	0.5	2.1	3.1
	B ₂	18.11	0.4	0.2	3.0
	B _{2g}	17.71	0.3	1.8	4.0

En los análisis químicos de la fracción menor de dos micras de los distintos horizontes de estos suelos, es de notar el elevado contenido en potasio de las arcillas correspondientes a los dos primeros perfiles, así como los bajos valores de las razones SiO₂/Al₂O₃ en los dos últimos. Estos, con valores de capacidad de cambio de cationes que oscilan entre 12 y 20 meq/100 g, deben poseer un alto contenido en minerales de tipo caolínico, mientras que en los perfiles I y II, los minerales micáceos serán predominantes. Todos estos extremos serán confirmados por el rango e intensidad de los distintos efectos de las curvas de ATG y registros de ATD, así como por los difractogramas de rayos X.

En los difractogramas correspondientes a la fracción arcilla del horizonte A₀ del perfil I aparece un pico a 7,13 Å que desaparece en la muestra calentada a 500° C, otro ancho a 10-12 Å que en la arcilla K calentada a 110° C cierra a 10 Å, una banda de pequeña intensidad a 14-16 Å estable a 110° C, pero que disminuye considerablemente de intensidad a 300° C y desaparece a 500° C, y un pico a 24,52 Å que cierra a 10 Å por secado a 110° C de la muestra potásica. En la muestra Mg tratada previamente con citrato, el pico a 10-12 Å se desdobra en dos

bien definidos, uno ancho a 11,93 y otro agudo de menor intensidad a 10,04 Å. Por tratamiento con glicerol las muestras Mg no sufrieron variación alguna en su espaciado basal. Existe pues en la fracción menor de dos micras de este horizonte una mezcla de caolinita bien cristalizada, mica microdividida, un interstratificado mica-vermiculita, y otro clorita-vermiculita hidroxialuminosa (intergrado).

La fracción arcilla del horizonte A_1 tiene una composición cualitativamente idéntica a la de A_0 , si bien el interstratificado mica-vermiculita está en proporción ligeramente más pequeña. En A_2 aunque la tendencia evolutiva es la misma que en los horizontes anteriores, el porcentaje de mica abierta es notablemente más pequeño, siendo casi imperceptible el primer orden del interstratificado mica-vermiculita. Este no aparece en las arcillas de Bh donde la mica está abierta en pequeña proporción y la banda a 14-16 Å, más acentuada que en los horizontes anteriores, no disminuye de intensidad por calentamiento a 300° C sufriendo sólo un ligero descenso a 500° C, comportamiento que indica que la capa interlamina del intergrado tiene un grado de organización que se aproxima al de una clorita secundaria. Los mismos minerales aparecen en B_s , donde la proporción relativa de argilomica respecto al caolín es sensiblemente mayor. También en C_1 encontramos caolinita, mica y un interstratificado clorita-intergrado. A lo largo de todo el perfil aparece cuarzo microdividido fácilmente detectable en los difractogramas de rayos X.

La fracción arcilla de los horizontes más profundos del perfil II presenta características en todo análogas a las de los horizontes A_0 y A_1 del perfil anterior, estando formada de caolín, mica y los dos interstratificados que allí aparecían. El horizonte más superficial, A_0 A_1 , tiene en su fracción arcilla mica bien cristalizada, caolinita y una pequeña proporción de clorita-intergrado en todo análogo al que aparecía en los horizontes profundos del perfil anterior.

Fundamentalmente caolinítico puede considerarse el horizonte A del perfil III, ya que su fracción arcilla está compuesta en más del 70 por 100 por este mineral, al que acompañan mica degradada y un interstratificado que a 300° C cierra a 10 Å. En B la proporción de mica es notablemente más alta que en el horizonte anterior y junto con ella componen la fracción arcilla un mineral a 14 Å y caolinita, cuya proporción relativa en este horizonte es inferior a la del A. En horizontes más profundos hay una mayor cloritización del interstratificado a 14 Å puesta de manifiesto por la persistencia de este pico en los difractogramas de las muestras calentadas.

A lo largo de todo el perfil IV aparece bien definida la línea a 7 Å de la caolinita, cuya proporción es prácticamente constante en todos los horizontes. La acompaña en A mica bien cristalizada y en pequeña cantidad, interstratificados. En B_2 , disminuye ligeramente la proporción de mica, siendo las arcillas de B_{22} análogas a las de A. En B_{3g} la fracción menor de dos micras está formada casi exclusivamente de mica y caolinita, ya que el interstratificado que las acompaña no alcanza el 10 por 100.

A partir de los datos de análisis químico, capacidad de cambio de cationes, ATD, ATG y difractogramas de rayos X, se ha calculado de

forma semicuantitativa la composición de la fracción arcilla de los distintos perfiles (tabla VI).

TABLA VI

Composición mineralógica de la fracción arcilla

Perfil	Horizontes	Caolinita	Mica	Interestratificados	
				Mica-vermiculita	Clorita-Intergrados
I	A ₀	XX	XXXX	XX	+
	A ₁	XX	XXXX	XX	+
	A ₂	XX	XXXXX	—	+
	B _h	XX	XXXXX	—	X
	B _s	X	XX'XXXX	—	X
	C ₁	XX	XXXXXX	—	+
II	A ₁₁	XX	XXXXX	—	+
	A ₁₂	XX	XXXX	XX	+
	B/C ₁	XX	XXXXX	X	+
III	A	XXXXXX	X	—	+
	(B)	XXX	XXX	—	X
	B/C ₁	XXXXX	XX	—	X
IV	A	XXX	XX	—	X
	B ₁	XXXXX	X	—	X
	B ₂	XXX	XX	—	X
	B _{2g}	XXXXX	XX	—	+

+ = Trazas

x = 5 — 15 %

xx = 15 — 30 %

xxx = 30 — 50 %

xxxx = 50 — 70 %

xx'xxxx = > 70 %

DISCUSIÓN

El perfil I corresponde a un suelo en el que la acción podsolizante de las aguas cargadas en materia orgánica es claramente detectable, a pesar de tratarse en este caso de un podsol «intrazonal». En los horizontes más superficiales, A₀ A₁, las aguas que percolan a través están cargadas en ácidos hidrosolubles de cadena corta, que rebajan su pH y producen en las micas un lavado desaturante, con la consiguiente evolución de las mismas. El poder complejante de algunos de estos ácidos «limpia» de aluminio los espacios interlaminares, emigrando éste en forma de complejos orgánicos hacia horizontes más profundos. Se manifiesta en estos horizontes de forma clara la acción de las soluciones diluidas de ácidos complejantes sobre las micas, que como ha sido probado experimentalmente (Vicente & Robert, 1976) es distinta de la acido-

lisis, donde la aluminización de los espacios interlaminares es inmediata. Estamos pues ante un ejemplo de acidocomplexolisis producida por percolación del agua cargada en materia orgánica poco evolucionada. En A_2 debido a una mayor polimerización de la materia orgánica, con su consiguiente inactivación, la mica está menos alterada y aún menos en B_h , donde aquélla llega polimerizada y prácticamente inactiva para las primeras fases de la alteración. En los horizontes más profundos el efecto de la materia orgánica, como era de esperar, desaparece. La acción producida por las aguas de percolación en los filosilicatos heredados de la roca madre es inapreciable en el caolín, pero altera profundamente las micas de los primeros horizontes, alteración que disminuye con la profundidad. También la clorita heredada de las pizarras ha sido afectada, evolucionando hacia interestratificados clorita-intergrados, que en los horizontes profundos, donde el fenómeno dominante es la acidolisis, conservan un alto grado de cloritización, y en superficie la acción de los aniones complejantes ha desorganizado su capa hidroxialuminosa.

En el perfil II, la fuerte lixiviación lateral con aguas enriquecidas en ácidos orgánicos procedentes de suelos más altos, ha dado lugar a una evolución de la mica que, inalterada en la roca madre, aparece en los horizontes más profundos de este perfil abierta en gran parte. Las arcillas de estos horizontes tienen las mismas características y, probablemente, la misma génesis que las de los más superficiales del perfil anterior. El horizonte A_{11} presenta menor grado de evolución a partir de la roca madre y tiene características similares a las de los más profundos del perfil anterior. Estamos ante un horizonte más reciente, superpuesto a los anteriores en época posterior y formado por deposición de materiales procedentes de cuarcitas alteradas.

En el horizonte más superficial del perfil III, correspondiente a un suelo más viejo que los anteriores, la destrucción de la mica producida por hidrólisis prolongada ha dado lugar a un enriquecimiento relativo en caolinita, que disminuye notablemente al pasar al horizonte (B) y aumenta ligeramente en B/C_1 . Este horizonte presenta signos evidentes de iluviación con acumulación de arcilla y óxidos de hierro, apareciendo en él abundantes y finos argilocutanes. Tanto en este perfil como en el IV una pequeña parte en la caolinita presente será de neoformación, ya que en ambos los aportes de pizarra, poseedoras de feldespatos, son sensiblemente más intensos que en los perfiles I y II.

Mucho más evolucionada que en superficie aparece la mica en el horizonte B_{21} del perfil IV. Debido a la dificultad de drenaje que comienza a manifestarse a este nivel, el agua permanece más tiempo en contacto con el suelo, dando lugar a una mayor degradación de micas y cloritas con probable neoformación de caolinita. En B_{22} empieza a manifestarse como tal el fenómeno de gleización que en B_{3g} alcanzará su máxima intensidad.

CONCLUSIONES

Estamos pues ante cuatro suelos que, formados sobre una misma roca madre, presentan características bien particulares cada uno. De los tres filosilicatos heredados: caolinita, clorita y mica, el primero es prác-

ticamente inalterable en las condiciones fisicoquímicas de estos suelos y las variaciones en su contenido serán relativas, producidas por la mayor o menor destrucción de las micas, que se disolverán o evolucionarán hacia vermiculitas según las condiciones. También la clorita ha sufrido los fenómenos de destrucción y evolución, siendo predominante el primero en los perfiles III y IV donde una hidrólisis ácida prolongada ha destruido gran parte de la misma. En I y II, a la mayor agresividad de la materia orgánica en el proceso destructivo de la arcilla se opone la mayor juventud de estos suelos, en cuyos horizontes superiores la clorita (heredada en poca cantidad, ya que su origen es la contaminación por las pizarras circundantes), se encuentra fuertemente evolucionada, pero el proceso de disolución está menos avanzado que en suelos anteriores.

El desarrollo de los dos primeros perfiles está pues condicionado por la materia orgánica que produce sobre ambos una acción de tipo *podsolizante*, bien que por tratarse de una formación «paraclimax» en esta zona, aunque el grado de podsolización sea suficiente para producir una diferenciación morfológica de podsol en el perfil I, no se observa una fuerte degradación en las arcillas. En el perfil II, la evolución de las arcillas es la misma que en I, aunque existe una inversión de los horizontes respecto a él, pero no se alcanza la diferenciación morfológica típica de podsol. En III la *hidrólisis* y en IV la *hidrólisis*, acompañada de *gleización*, son las que condicionan la evolución de las arcillas.

RESUMEN

Se estudia el grado de evolución de los minerales de la arcilla en cuatro perfiles situados, a altitudes diferentes, en la vertiente norte de la Sierra de Francia (Salamanca), caracterizados como: perfil I, *humic podsol*; perfil II, *humic cambisol*; perfil III, *ortic luvisol*; perfil IV, *chromic luvisol*. Los cuatro suelos, desarrollados en clima húmedo frío, tienen como material de origen metacuarcitas ordovícicas con aportes de las pizarras cámbricas circundantes, existiendo en las primeras mica y caolinita, y en las pizarras mica, caolinita y clorita, con una pequeña cantidad de plagioclasas.

El proceso edafogenético de tipo podsolizante en los dos primeros perfiles ha dado lugar a una fuerte evolución de la mica, que en los horizontes A de I y A₁₂ y B/C₁ de II aparece en gran parte abierta a interstratificados mica-vermiculita, y una desorganización de la capa interlaminar de la clorita que evoluciona a intergrados, pero el proceso no es lo suficientemente largo, estamos ante dos suelos jóvenes, para afectar a la caolinita, cuyo contenido se mantiene prácticamente constante a lo largo de ambos perfiles. En III una hidrólisis prolongada y en IV hidrólisis acompañada de gleización marcarán el tipo de evolución de la arcilla, caracterizado por una fuerte degradación de la mica con el consiguiente enriquecimiento relativo en caolinita, una pequeña parte de la cual será sin embargo de neoformación. En ambos aparecen en pequeña cantidad intergrados procedentes de evolución de la clorita, cuya capa hidroxialuminosa está menos desorganizada que en los que aparecían en los perfiles I y II.

*Centro de Edafología y Biología Aplicada de Salamanca
y Cátedra de Edafología de la Universidad de Salamanca.*

BIBLIOGRAFÍA

- BRYDON, J. E., KODAMA, H. et ROSS, G. J. (1968). *Trans 9th Int. Conf. Soil Sci.*, 3, 41.
- CARBALLAS, T., DUCHAUFOUR, PH. & JACQUIN, F. (1967). *Bull. E. N. S. A. I. A.*, 9, 20.
- DUCHAUFOUR, P. (1972). *Processus de formation de sols*. C. R. D. P., Nancy.
- ESPIAU, P. & MERCADIER, H. (1976). *Science du Sol*, 1, 37.
- GALLARDO, J., SÁNCHEZ CAMAZANO, M., SAAVEDRA, J. & GARCÍA SÁNCHEZ, A. (1976). *Clay Miner.*, 11, 241.
- GARMENDÍA, J. (1964 y 1965). *El clima de la provincia de Salamanca. I y II. Publicaciones del I. O. A. T. O.*, Salamanca.
- GJEMS, O. (1963). *Clay Min. Bull.*, 5, 183.
- GUERRA DELGADO, A. & MORENO ALVAREZ, J. L. (1976). *An. Edaf.*, 35, 1007-1320.
- HETIER, J. M. & TARDY, Y. (1969). *C. R. Acad. Sci., París*, 268, D. 259.
- JACKSON, M. L. (1963). *Clays and Clay miner. (11th Nat. Conf. 1962)*, 29.
- LELONG, F. & SOUCHIER, B. (1972). *Sciences Terre*, 17, 353.
- MARTÍN VIVALVI, J. L., SÁNCHEZ CAMAZANO, M. & LUCENA CONDE, F. (1961). *An. Edaf. y Agrob.*, 20, núm. 2, 71.
- PEDRO, G., DELMAS, A. B. & SEDDOH, F. K. (1975). *C. R. Acad. Sci., París*, 280-D, 825.
- ROBERT, M. & BARSHAD, I. (1972). *Bull. Grpe. Fr. Argiles*, 24, 137.
- ROBERT, M. & RAZZAGUE-KARIMI, M. (1974). *Bull. Grpe. Fr. Argiles*, 26, 307.
- ROBERT, M. & VICENTE, M. A. (1977). *Geoderma (En prensa)*
- ROSS, G. J. & MORTLAND, M. M. (1966). *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 30, 337.
- SÁNCHEZ CAMAZANO, M. & LEDESMA GARCÍA, M. (1976). *An. Edafol. (En prensa)*.
- SEDDOH, F. K., PEDRO, G., ROBERT, M. & DEJOU, J. (1969). *C. R. Acad. Sci., París*, 268-D, 1901.
- SEDDOH, F. K. & PEDRO, G. (1974). *Bull. Grpe. Fr. Argiles*, 26, 107.
- SOKOLEVA, T. & BELOUSEVA, N. (1974). *Pochvovedénie*, 7, 74.
- SOUCHIER, B. (1971). *Thèse. Faculté des Sciences de L'Université de Nancy*.
- TAMURA, T. (1957). *Am. Miner.*, 42, 107.
- VICENTE, M. A. & ROBERT, M. (1976). *C. R. Acad. Sci., París*, 284-D, 511.
- VICENTE, M. A., RAZZAGUE, M. & ROBERT, M. (1977). *Clay Miner.*, 12, 101.
- WARENBURG, F. R., LOSSAINT, P. & BOTNER, P. (1973). *Bull. Asso. Fr. Et. Sol.*, 1, 42.

Recibido para publicación: 8-IX-77

CALORES DE ADSORCION DE FOSFATOS DE TRIALQUILO POR MONTMORILLONITA

por

G. DIOS CANCELA y S. GONZALEZ GARCIA

SUMMARY

HEATS OF ADSORPTION OF TRIALKYL PHOSPHATES WITH MONTMORILLONITE

The interaction of trimethyl, triethyl and tributyl phosphates with Li^+ , Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Ba^{2+} , Cr^{3+} , Mn^{2+} , Co^{2+} , Cu^{2+} and Zn^{2+} montmorillonite have been studied by X-ray and calorimetric techniques. The montmorillonite-phosphates complex are vacuum stables and its basal spacings are related to the exchangeable cations and to the phosphates molecules size.

From the immersion heats of dry and partially solvated samples have been calculated the adsorption heats during the formation of complexes. The adsorption heats, after correction of the expansion energy, are related to the ionic potentials of the exchangeable cations. This fact suggest that the formation of complexes is realized by electrostatic interactions of the cation-dipole type between the adsorbed molecules and the exchangeable cations. Further the interlayered molecules probably interact with the silicate layers through hydrogen bonds with the oxigenes of internal surfaces.

En trabajos anteriores (6, 7, 12) González García y col., investigan la interacción de fosfatos de trialquilo (trimetilo, trietilo, tripopilo y tributillo) con montmorillonitas y vermiculitas homoiónicas. Los líquidos polares penetran en los espacios interlaminares de los silicatos, dando complejos cuya naturaleza y constitución es seguida por rayos X, A. T. D. y técnicas de desorción. Los autores postulan la posible orientación de las moléculas de los fosfatos en los espacios interlaminares.

La formación de estos complejos irá acompañada de una cierta tonalidad térmica, cuyo conocimiento es importante, ya que puede permitir enjuiciar los mecanismos de su formación y decidir acerca de la unión de las moléculas de los fosfatos a los cationes de cambio. Por ello hemos creído interesante realizar un estudio de los calores de adsorción de fosfatos de trimetilo, trietilo y tributilo por montmorillonitas alcalinas, alcalinotérricas y de transición, con objeto de conocer la influencia del catión y del tamaño molecular del líquido solvatante en la energía puesta en juego en la formación de los complejos.

MATERIALES Y MÉTODOS EXPERIMENTALES

Se investiga la montmorillonita de Tidinit, mineral de fórmula mineralógica



densidad de carga $3,03 \times 10^4$ esu/cm² y área por celdilla unidad 93,8 Å², de la que se prepararon muestras homoiónicas de Li⁺, Na⁺, K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, Ba²⁺, Cr³⁺, Mn²⁺, Co²⁺, Ni²⁺, Cu²⁺ y Zn²⁺ por los métodos usuales de la bibliografía (6).

Los calores de adsorción a 25° C, en los distintos fosfatos, se calcularon por la expresión:

$$q_A = \frac{Q_{i_0} - Q_i}{N} \text{Kcal/mol}$$

en donde Q_{i_0} es el calor de inmersión de muestras desgasificadas a 110° C y vacío durante ocho horas, en cal/gr, Q_i el calor de inmersión de muestras pretratadas en las mismas condiciones anteriores, humedecidas con los fosfatos y luego desorbidas a vacío sobre Cl₂Ca hasta peso constante y N la cantidad de fosfato retenida por las muestras después del tratamiento anterior, en milimoles de fosfato por gramo de muestra. Las muestras estaban contenidas en ampollas de vidrio, que después de cada tratamiento, se cerraban a la llama y se pasaban al calorímetro para medir su calor de inmersión.

El calorímetro utilizado en las experiencias fue construido en esta Sección siguiendo el modelo descrito por Sunner y Wadso (14), al cual se le adaptó un registro gráfico Philips PW 8100. El cálculo de los calores de inmersión se realiza a partir de ϵ y de R_1 y R_2 , en que ϵ es proporcional a la capacidad calorífica total del sistema; R_1 y R_2 son las resistencias inicial y final de la reacción, que se calculan por el método de extrapolación gráfica de Simpson (17). El calorímetro se calibra por efecto joule después de cada experiencia calorimétrica.

El contraste del calorímetro se hizo por medida de los calores de disolución en agua de AcNa y ClLi, obteniéndose los valores de $4,200 \pm 0,02$ Kcal/mol y $8,850 \pm 0,04$ Kcal/mol, respectivamente, en completo acuerdo con los resultados de la bibliografía (8). Para el cálculo de los calores de inmersión a partir de los datos experimentales, se hizo uso de las correcciones necesarias en estos casos, y que han sido discutidas en trabajos anteriores (3, 4).

Se hicieron diagramas de rayos X de los complejos estables a vacío con un aparato Philips PW 1010 utilizando radiación K α del cobre y filtro de níquel.

Los fosfatos de trimetilo (TMP), trietilo (TEP) y tributilo (TBP) fueron suministrados por la firma Fluka. En la tabla I se incluyen algunas de sus constantes físicas.

TABLA I

Constantes físicas de los fosfatos de trialquilo

Fosfato	TENSION SUPERFICIAL dinas/cm ² (15)	Constante dieléctrica (2)	Momento dipolar, D (1)	PARACORO (15)
TMP	36,76	2,57	3,02	285,9
TEP	32,22	2,36	3,07	398,7
TBP	28,15	2,40	3,05	626,3

RESULTADOS EXPERIMENTALES Y DISCUSIÓN

En la tabla II se incluyen, para cada fosfato, los espaciados $d(001)$ de los complejos estables a vacío, los calores de inmersión de muestras desgasificadas (Q_{i_0}), en cal/gr, los calores de inmersión de muestras conteniendo las cantidades de fosfato retenidas en el tratamiento a vacío de los complejos húmedos (Q_i), la cantidad, N , de fosfato adsorbida, en gramos de fosfato por gramo de muestra, y los calores de adsorción (q_A), en Kcal/mol, obtenidos de la expresión indicada en el apartado anterior. Los valores de Q_{i_0} y Q_i de la tabla II son la media aritmética de dos determinaciones paralelas.

El tratamiento de la montmorillonita con los fosfatos de trimetilo, trietilo y tributilo conduce a complejos estables a vacío, a los que corresponden diagramas de rayos X profundamente modificados en los espaciados basales respecto a los de las muestras naturales. Los datos de la tabla II revelan, en efecto, que los fosfatos penetran, en todos los casos, entre las láminas de la montmorillonita produciendo un acusado hinchamiento que se manifiesta en el valor del espaciado $d(001)$ y cuya magnitud varía con las características cristalquímicas de los cationes de cambio y con el tamaño molecular del adsorbato. Las variaciones, por un mismo líquido polar, de los espaciados basales con las características cristalquímicas de los cationes es una prueba evidente de que los solvatos resultantes deben de formarse por coordinación de las moléculas de los fosfatos al catión, posiblemente a través del oxígeno del grupo fosforilo, produciéndose, por tanto, orientaciones moleculares que serán función de la intensidad de la unión electrostática catión-molécula. Para una misma muestra, las variaciones encontradas en los espaciados $d(001)$ en los diferentes sistemas, parecen estar relacionadas, fundamentalmente, con el tamaño molecular del líquido solvante, lo que es lógico si se piensa en el valor casi constante del momento dipolar de los fosfatos (tabla I). Los espaciados basales de los complejos investigados en este trabajo son, por otra parte, idénticos a los encontrados por González García y col. (7, 12) en publicaciones anteriores, lo que confirma la reproducibilidad del proceso.

TABLA II

Espaciados $d(001)$ de los complejos montmorillonita-fosfatos de triálquilo, calores de inmersión y de adsorción de TMP, TEP y TBP por montmorillonita

Fosfato	Muestra	Li+	Na+	K+	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Ba ²⁺	Cr ³⁺	Mn ²⁺	Co ²⁺	Ni ²⁺	Cu ²⁺	Zn ²⁺
TMP	$d(001)$ Å	16,3	15,7	15,7	16,3	16,3	15,9	16,4	16,5	16,5	16,5	16,4	16,4
	Q_{i_0} cal/gr	20,6	13,2	10,8	27,8	28,4	18,6	18,5	27,6	23,7	25,4	21,5	20,6
	Q_i cal/gr	2,9	2,8	2,3	2,3	3,0	2,3	1,6	3,0	2,8	2,7	2,0	2,0
	N gr/gr	0,209	0,190	0,176	0,208	0,247	0,191	0,143	0,220	0,181	0,181	0,156	0,170
	g_A Kcal/mol	11,9	7,7	6,8	17,2	14,4	11,9	16,6	15,7	16,2	17,6	17,5	15,3
TEP	$d(001)$ Å	20,5	16,5	16,6	17,3	20,5	16,6	17,1	17,5	17,5	17,5	17,1	17,5
	Q_{i_0} cal/gr	19,0	11,0	9,4	21,5	21,8	15,3	9,5	21,6	21,9	23,9	17,0	14,7
	Q_i cal/gr	3,5	3,4	2,9	2,8	2,0	2,0	1,9	2,0	2,0	2,0	1,9	1,9
	N gr/gr	0,240	0,209	0,199	0,214	0,291	0,218	0,146	0,236	0,218	0,218	0,185	0,210
	g_A Kcal/mol	11,7	6,6	5,9	15,9	12,4	11,1	9,5	15,1	16,6	18,4	14,8	11,1
TBP	$d(001)$ Å	23,2	22,9	23,2	27,2	27,3	23,2	18,2	24,5	22,9	22,9	22,0	22,9
	Q_{i_0} cal/gr	16,5	9,6	8,1	13,4	18,7	14,0	9,0	19,7	20,6	21,7	17,0	14,7
	Q_i cal/gr	1,0	1,7	1,7	2,0	2,0	1,7	0,7	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
	N gr/gr	0,377	0,301	0,307	0,366	0,378	0,366	0,201	0,336	0,334	0,334	0,280	0,314
	g_A Kcal/mol	10,9	7,0	5,5	8,3	11,7	8,9	11,0	14,6	15,4	16,3	15,0	11,4

TABLA III
Calor de hinchamiento y calores totales de adsorción de fosfatos de triálquilo por montmorillonita

Fosfato	Muestra	Li+	Na+	K+	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Ba ²⁺	Cr ³⁺	Mn ²⁺	Co ²⁺	Ni ²⁺	Cu ²⁺	Zn ²⁺
TMP	Energía Expansión Kcal/mol	4,6	4,8	4,7	9,1	7,5	7,8	19,1	8,2	10,0	10,0	11,5	10,5
	Calor de Adsorción Total Kcal/mol	16,0	12,5	11,5	26,3	21,9	19,7	35,7	23,9	26,2	27,6	29,0	25,8
TEP	Energía Expansión Kcal/mol	8,7	5,6	5,1	11,0	9,4	8,9	24,3	10,2	10,7	10,7	12,5	11,0
	Calor de Adsorción Total Kcal/mol	20,4	12,2	11,0	26,9	21,8	20,0	33,8	25,3	27,3	29,1	27,3	22,1
TBP	Energía Expansión Kcal/mol	9,1	10,9	10,1	18,9	18,3	15,0	27,3	19,5	19,4	19,4	23,0	20,5
	Calor de Adsorción Total Kcal/mol	20,0	17,9	15,6	27,2	30,0	23,9	38,3	34,1	34,8	35,7	38,0	31,9
	Z/r	1,66	1,05	0,75	3,05	2,02	1,48	4,76	2,5	2,78	2,89	2,78	2,70

Los calores de adsorción en los fosfatos de trimetilo, trietilo y tributilo incluidos en la tabla II vienen también fuertemente influenciados por las características cristalquímicas de los cationes de cambio, lo que constituye de nuevo una prueba evidente de que las moléculas de los fosfatos solvatan a los cationes. Los calores de adsorción en los tres fosfatos investigados son, para una misma muestra, del mismo orden de magnitud lo que es lógico si se piensa en el análogo momento dipolar de los tres fosfatos.

Ninguna conclusión cuantitativa acerca del mecanismo de formación de estos complejos puede deducirse el valor de q_A de la tabla II, ya que esta magnitud es el resultado neto de varias contribuciones energéticas. En efecto, al calor de adsorción experimental contribuye el calor consumido en la expansión interlaminar y la energía puesta en juego en la interacción de las moléculas adsorbidas y los cationes y láminas del silicato. Cualquier consideración cuantitativa exige por tanto el conocimiento de la energía de expansión. Nosotros hemos calculado esta contribución mediante la expresión postulada por Norrish (10) y aplicada por diferentes investigadores (9, 15) según la cual:

$$\text{Expansión} = \frac{Ze \times \sigma}{2\epsilon} \left(\frac{1}{D} - \frac{1}{D_1} \right) \text{ ergios/cm}^2$$

en donde σ es la densidad de carga del mineral, Z la valencia del catión, e la carga del electrón, ϵ la constante dieléctrica del medio entre las cargas, que se ha tomado igual a 2,65 (13), y D y D_1 la distancia entre el centro del catión y el centro de la carga negativa laminar, para la montmorillonita anhidra y para el complejo, respectivamente. El centro de carga negativa se ha supuesto que está a 4,2 Å del plano de átomos de oxígeno de la red (9) y para el cálculo de D_1 se ha hecho uso de la geometría postulada por González García y col., para estos complejos (7, 12).

En la tabla III, se reproducen, para cada fosfato, las energías de expansión calculadas por la expresión anterior en Kcal/mol, utilizándose para ello, las cantidades de fosfato (N) de la tabla II, y la suma de esta magnitud y del calor de adsorción experimental, q_A , representada en la tabla III, como calor de adsorción total. En la tabla III, se incluyen, también, los potenciales iónicos, z/r , de los cationes, para cuyo cálculo se utilizaron los radios iónicos de Pauling (11).

Si los calores de adsorción de la tabla III reflejan las energías desprendidas en la solvatación de los cationes de cambio interlaminados y superficies internas de la montmorillonita, y si esta última contribución es constante, en un mismo líquido polar, para las diferentes muestras, es de esperar exista una buena relación entre la magnitud del calor total de adsorción y el parámetro z/r del catión (z = valencia y r = radio iónico de Pauling), ya que la energía desprendida en el proceso de solvatación catiónica debe ser, fundamentalmente, de tipo electrostático, y regida por la ley de Coulomb.

Para comprobar la suposición apuntada, hemos representado en la figura 1, para los tres sistemas estudiados, los calores totales de adsorción de la tabla III frente al potencial iónico de los cationes de cambio.

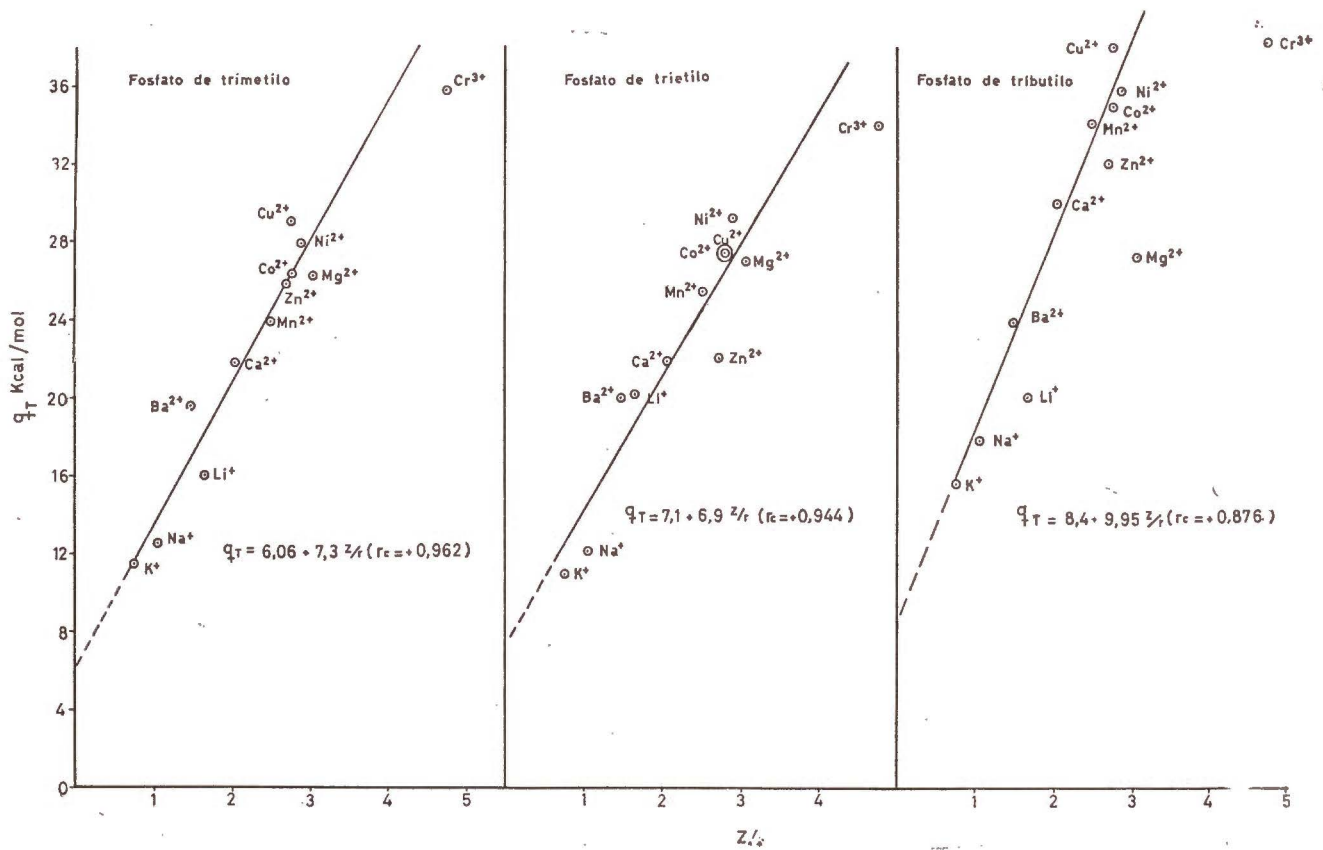


Fig. 1

El estudio de las gráficas de la figura revela una relación prácticamente lineal entre ambas magnitudes, lo que constituye una prueba evidente de que la energía de formación de los complejos está vinculada, fundamentalmente, a interacciones de tipo electrostático entre cationes y moléculas adsorbidas a las que contribuirá de forma importante las de tipo catión-dipolo.

El ajuste de las rectas de la figura 1 por mínimos cuadrados, conduce a ecuaciones, también incluidas en dicha figura, que determinan de forma cuantitativa la relación existente entre el calor de adsorción y el parámetro z/r . Estas ecuaciones presentan una ordenada en el origen que varía entre 6 Kcal/mol para el fosfato de trimetilo y 8,4 Kcal/mol para el tributilo, ordenadas que deben representar la contribución al calor de adsorción, del calor liberado en la solvatación de las superficies internas de la arcilla, a través, dada su magnitud, de uniones del tipo C—H—O entre los grupos metilo o metileno activados del fosfato y los oxígenos de las superficies internas.

De lo expuesto se puede concluir que las fuerzas atractivas electrostáticas entre los cationes de cambio y las moléculas polares, son los principales responsables de la adsorción, siendo la energía de esta interacción determinada por el potencial iónico catiónico, y por la magnitud del momento dipolar de la molécula. La polarización de las moléculas coordinadas a los cationes de cambio hace que éstas interaccionen además, con las láminas del silicato a través de uniones por puente de hidrógeno.

Los calores de adsorción en fosfato de tributilo son superiores, prácticamente en todos los casos, a los encontrados en los otros fosfatos, en extensión que oscila entre 4 y 10 Kcal/mol (tabla III). Este hecho, habida cuenta del análogo momento dipolar de los tres fosfatos (tabla I), debe relacionarse con la mayor polarizabilidad del TBP que puede conducir a un mayor porcentaje del carácter covalente de la unión molécula-catión y por tanto a una mayor estabilidad del complejo formado.

RESUMEN

Se estudia la interacción de los fosfatos de trimetilo, trietilo y tributilo con las montmorillonitas de Li^+ , Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Ba^{2+} , Cr^{3+} , Mn^{2+} , Co^{2+} , Ni^{2+} , Cu^{2+} y Zn^{2+} , por técnicas de rayos X y calorimétricas. Los tres fosfatos forman con la montmorillonita complejos interlaminares estables a vacío, cuyos espaciados basales son función del catión de cambio y del tamaño molecular del adsorbato.

A partir de los calores de inmersión de muestras secas y parcialmente solvatadas, se calculan los calores de adsorción durante la formación de los respectivos complejos, los cuales, una vez corregidos en la energía de expansión interlaminar, son función del potencial iónico de los cationes de cambio. Este hecho revela que la formación de los complejos se realiza, fundamentalmente, por interacciones electrostáticas del tipo ión-dipolo entre las moléculas adsorbidas y los cationes de cambio. Las moléculas interlaminares interaccionan, además, con las láminas del silicato, posiblemente a través de puentes de hidrógeno con los oxígenos de las superficies internas.

*Estación Experimental del Zaidín.
Sección de Físico-Química y Mineralogía de Arcillas.
Granada (España).*

BIBLIOGRAFÍA

- (1) ARBUZOV, A. E. y RAKOV, P. I. (1950). Akad. Nauk., SSSR, 237.
- (2) ARONEY, M. J., CHIA, L. H. L., LEFEVRE, R. J. W. y SAXBY, J. D. (1964). J. Chem. Soc., 2948.
- (3) DIOS CANCELA, G., GONZÁLEZ GARCÍA, S. y GRANGETTO, A. (1970). Proc. I Reunión Hispano-Belga de Minerales de la Arcilla, 26.
- (4) DIOS CANCELA, G., ROUQUEROL, F. y ROUQUEROL, F. (1971). An. Edaf. Agrobiol., 30 (3), 293.
- (5) GONZÁLEZ GARCÍA, S.-GONZÁLEZ GARCÍA, F. (1953). An. Edaf. Fisiol. Veget., 12, 993.
- (6) GONZÁLEZ GARCÍA, S., SÁNCHEZ CAMAZANO, M. y GONZÁLEZ ZAPATERO, M. (1970). Proc. I Reunión Hispano-Belga de Minerales de la Arcilla, 104.
- (7) GONZÁLEZ GARCÍA, S., SÁNCHEZ CAMAZANO, M. y GONZÁLEZ ZAPATERO, M. (1972). An. Edaf. Agrobiol., 31 (1), 2.
- (8) HANDBOOK OF PHYSICAL-CHEMISTRY, 50th (1970).
- (9) LEVY, R. y SHAMBERG, I. (1972). Clays and Clay Min., 20, 37.
- (10) NORRISH, K. (1954). Discussions Faraday Soc., 18, 20.
- (11) PAULING, L. (1927). J. Amer. Chem. Soc., 49, 765.
- (12) SÁNCHEZ CAMAZANO, M., GONZÁLEZ GARCÍA, S. y GONZÁLEZ ZAPATERO, M. (1972). An. Edaf. Agrobiol., 31 (1), 25.
- (13) SCHÖNG, G. y WEISS, A. (1970). Proc. I Reunión Hispano-Belga de Minerales de la Arcilla, 36.
- (14) SUNNER, S. y WADSÖ, I. (1959). Acta Chem. Scand., 13, 97.
- (15) VAN ASCHE, J. B., VAN CANWELAERT, F. H. y UYTTERHOEVEN, J. B. (1972). Proc. Intern. Caly Conf., 605.
- (16) VOGEL, A. J. y COWAN, D. M. (1943). J. Chem. Soc., 16, 24.
- (17) WADSÖ, I. (1966). Sci. Tools, 13, 33.

Recibido para publicación: 16-XI-77

INTERACCION DEL 1-2 PROPILLEN CARBONATO CON MONTMORILLONITA

I. ESTUDIO RONTGENOGRAFICO Y TERMICO

p o r

G. DIOS CANCELA

S U M M A R Y

INTERACTION OF PROPYLENE CARBONATE WITH MONTMORILLONITE. I. X-RAY AND THERMAL STUDIES

Complexes formed by adsorption of propylene carbonate on alkaline and alkaline-earth montmorillonites have been studied by means of X-ray diffraction and differential thermal analysis. The basal spacing of complexes obtained by inhibition, are:

$$\text{Li}^+ = 18,3 \text{ \AA}, \text{Na}^+ = 18,5 \text{ \AA}, \text{K}^+ = 13,4 \text{ \AA}, \text{Rb}^+ = 18,5 \text{ \AA}, \text{Cs}^+ = 18,5 \text{ \AA}, \\ \text{Mg}^{2+} = 18,5 \text{ \AA}, \text{Ca}^{2+} = 18,5 \text{ \AA}, \text{Sr}^{2+} = 21,9 \text{ \AA}$$

and

$$\text{Ba}^{2+} = 22,1 \text{ \AA}$$

but, with a vacuum treatment, the basal spacing of the complexes change to:

$$\text{Li}^+ = 18,2 \text{ \AA}, \text{Na}^+ = 18,5 \text{ \AA}, \text{K}^+ = 13,4 \text{ \AA}, \text{Rb}^+ = 18,5 \text{ \AA}, \text{Cs}^+ = 18,5 \text{ \AA}, \\ \text{Mg}^{2+} = 18,2 \text{ \AA}, \text{Ca}^{2+} = 18,2 \text{ \AA}, \text{Sr}^{2+} = 18,5 \text{ \AA}$$

and

$$\text{Ba}^{2+} = 18,5 \text{ \AA}$$

The study of vacuum stable complexes by D. T. A. and D. T. G. show that their formation take place in two steps, being the firsts the 13,5 Å complex, similar to the original K⁺-complex.

From the measured of basal spacings and the propylene carbonate dimensions, the disposition of the liquid between the layers are postulated.

En los últimos años se ha prestado una gran atención al estudio de los complejos formados por adsorción de moléculas polares en los espa-

cios interlaminares de la montmorillonita, entre otras razones, por el interés práctico de los compuestos resultantes y por el éxito de su empleo en problemas de identificación (1 a 10, 13 a 15). La naturaleza y la posibilidad de formación de estos complejos depende, fundamentalmente, de factores intrínsecos al silicato y de factores dependientes del adsorbato.

Entre los primeros cabe destacar la densidad y distribución de carga que condiciona la robustez del enlace interlaminar. A mayor densidad de carga mayor dificultad de penetración de las moléculas polares (7, 8). Para enjuiciar y justificar la capacidad de hinchamiento de una arcilla hay que atender, en consecuencia, a la naturaleza y grado de las sustituciones isomórficas, características cristal-químicas de los cationes de cambio y a la distancia mutua entre cationes interlaminares, que pueden condicionar la orientación o el número de capas del líquido polar adsorbido.

La naturaleza de los solvatos resultantes depende, además, de las características físicas y moleculares del líquido utilizado. En particular su momento dipolar, existencia de pares de electrones no compartidos y su tamaño molecular pueden condicionar su capacidad de coordinación y de formación de puentes de hidrógeno (7, 8, 9, 13, 14). La constante dieléctrica del líquido orgánico puede influir en el trabajo de expansión de las láminas y ser, por tanto, un factor decisivo en la posibilidad de formación de los complejos (1, 15).

Puesto que el 1-2 propilen carbonato (PC) tiene un elevado momento dipolar y pares de electrones no compartidos sobre el átomo de oxígeno del grupo carbonilo, se pensó que esta sustancia podría formar complejos estables con la montmorillonita. El objetivo principal de este trabajo es estudiar, por difracción de rayos X, A. T. D. y D. T. G., los complejos de montmorillonitas alcalinas y alcalinotérreas con el 1-2 propilen carbonato (PC) y presentar y discutir los resultados obtenidos.

MATERIALES Y MÉTODOS EXPERIMENTALES

La montmorillonita utilizada es la de Tidinit, de la que se prepararon muestras homoiónicas alcalinas y alcalinotérreas, por los métodos usuales de la bibliografía (6).

Los complejos se obtuvieron por humedecimiento de las muestras, previamente pulverizadas y tratadas a 110° C, con el líquido polar durante cuarenta y ocho horas. Los complejos resultantes fueron estudiados por rayos X con un aparato Philips PW 1010, utilizando radiación $K\alpha$ del cobre y filtro de níquel. Los complejos húmedos fueron, además, sometidos, en desecadores con Cl_2Ca , a vacío hasta peso constante, obtenido el cual, se estudiaron de nuevo por rayos X, A. T. D. y D. T. G. Para esto último se utilizó un termoanalizador Mettler 2, con termopares Pt-Pt 10 por 100 Rh, que permite registrar simultáneamente las curvas de A. T. D., D. T. G., T. G. y T. Los termogramas se realizaron, en atmósfera de aire, a una velocidad de calentamiento de 5° C/mto., utilizándose Al_2O_3 calcinada a 1.200° C como sustancia de referencia.

Los espectros infrarrojos de los complejos fueron realizados en un

aparato Beckman IR-20 con ventanas de CIna, utilizando el sólido en suspensión en fluorube.

El 1-2 propilen carbonato nos fue suministrado por la firma Fluka como producto de alta pureza. Las constantes físicas del líquido se incluyen en la tabla I.

TABLA I

Constantes físicas del 1-2 propilen carbonato

Temperatura de fusión (11)	Temperatura de ebullición (11)	Momento dipolar Debyes (12)	Constante dieléctrica (12)	Factor de Kirwood (12)
- 48,8° C	242° C	4,94 (25° C)	65,1 (25° C)	1,18 (25° C)

RESULTADOS EXPERIMENTALES Y DISCUSIÓN

Estudio de los complejos por difracción de rayos X

En la tabla II se incluyen los espaciados $d(001)$ de los complejos humedecidos con el 1-2 propilen carbonato y de los complejos desorbidos a vacío hasta peso constante.

TABLA II

Espaciados $d(001)$ de los complejos montmorillonita-PC, en Å

Muestra	Li ⁺	Na ⁺	K ⁺	Rb ⁺	Cs ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Sr ²⁺	Ba ²⁺
Complejos tratados con exceso de PC	18,3	18,5	13,4	18,5 <i>f</i> (13,5) Vis	18,5 <i>f</i> (13,5) Vis	18,5	18,5	21,9	22,1
Complejos desorbidos	18,2	18,5	13,4	18,5 <i>f</i> (13,5) Vis	18,5 <i>f</i> (13,5) Vis	18,2	18,2	18,5	18,5

El examen de los datos de la tabla II pone de manifiesto que el tratamiento de la montmorillonita con un exceso de 1-2 propilen carbonato conduce a la formación de complejos de espaciados $d(001)$ muy netos y definidos, los cuales van seguidos de otros órdenes de reflexión, y

en cuya magnitud tiene una influencia decisiva los cationes de cambio. En efecto, pueden distinguirse tres tipos de complejos: de espaciado bajo, formado por la muestra de K^+ , al que corresponde un incremento, considerando el espaciado $d(001)$ de la pirofilita, de 4,1 Å; de espaciado intermedio, formados por las muestras de Li^+ , Na^+ , Rb^+ , Cs^+ , Mg^{2+} y Ca^{2+} , con incrementos que oscilan entre 9 y 9,2 Å y de alto espaciado, formados por las muestras de Sr^{2+} y Ba^{2+} , con incrementos de 12,6 y 12,8 Å, respectivamente. Las muestras de Rb^+ y Cs^+ dan, junto al espaciado de 18,5 Å, otro más débil a 13,5 Å análogo al espaciado de la muestra de K^+ . Las variaciones acusadas de los espaciados basales con las características de los cationes de cambio, constituye una prueba evidente de que los complejos deben diferenciarse o en el número de capas moleculares o en la orientación adoptada por las moléculas en la interlámina.

La desorción a vacío de los complejos obtenidos por tratamiento con exceso de PC destruye los de alto espaciado (Sr^{2+} y Ba^{2+}), que pasan a complejos de espaciado intermedio, lo que confirma la baja estabilidad de estos solvatos. Por otra parte, este tratamiento produce para las muestras de Li^+ , Mg^{2+} y Ca^{2+} , contracciones de 0,3 Å en el espaciado $d(001)$ con respecto al de las muestras tratadas con exceso de PC, lo que debe relacionarse con la pérdida de moléculas que actúan de relleno en los espacios interlaminares. Aparecen así, dos grupos de solvatos estables a vacío con espaciados basales de 18,2 Å (Li^+ , Mg^{2+} y Ca^{2+}) y de 18,5 Å (Na^+ , Rb^+ , Cs^+ , Sr^{2+} y Ba^{2+}) (tabla II). La pequeña diferencia encontrada en el espaciado $d(001)$ para los dos grupos de solvatos, puede relacionarse con la acción polarizante de los iones Li^+ , Mg^{2+} y Ca^{2+} sobre la molécula del carbonato, que conduce a un acortamiento de la distancia de enlace y a un posible efecto inductivo sobre el PC, que puede producir una ligera penetración de hidrógenos en los huecos exagonales formados por los átomos de oxígeno de la red, con la consiguiente disminución en el espaciado basal.

La muestra de K^+ , y en parte las de Rb^+ y Cs^+ , da complejos, tanto cuando se obtienen por tratamiento con exceso de PC, como después de la desorción a vacío, de espaciados basales 13,4 Å, con un incremento sobre la muestra anhidra de 4,1 inferior al encontrado en las restantes muestras. Este fenómeno ya descrito en el estudio de otros complejos de montmorillonita — K^+ , debe relacionarse con el radio de este ión, cuya magnitud le permite quedar fuertemente ocluido en las oquedades exagonales de la red, situación que impide su total solvatación y en consecuencia el desarrollo de energía necesario para abrir las láminas hasta el espaciado de 18,5 Å. Este mismo fenómeno se dará, aunque en menos extensión, en las muestras de Rb^+ y Cs^+ .

Estudio térmico de los complejos

Las variaciones de los espaciados basales con las características cristaloquímicas de los cationes de cambio puestas de manifiesto en el apartado anterior para los solvatos estables a vacío, deben de traducirse en

una diferente estabilidad de los complejos y, por tanto, ponerse de manifiesto en los procesos de su destrucción térmica, con resultados que pueden confirmar su constitución y naturaleza. Por esta razón, estimamos interesante realizar un estudio por A. T. D. y D. T. G. de los complejos estables a vacío. En las figuras 1 y 2, se reproducen los termogramas y derivatogramas correspondientes, y en la tabla III, se incluyen las pérdidas de PC encontradas en cada uno de los efectos de la figura 2 y el número de moléculas por catión, calculadas de la capacidad de cambio de la arcilla. En la figura 2 se incluye, además, los espaciados $d(001)$ de muestras sacadas del horno o distintas temperaturas del tratamiento térmico.

TABLA III

Pérdida de 1-2 propileno carbonato por montmorillonitas alcalinas y alcalinotérreas en cada uno de los efectos de la figura 2, expresada en gramos/gramo de arcilla y molécula/catión y potenciales iónicos de los cationes de cambio

Muestra	Li ⁺	Na ⁺	K ⁺	Rb ⁺	Cs ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Sr ²⁺	Ba ²⁺
Pérdida 1° efecto, gr/gr (149 a 171 °C)	0,167	0,178	0,099	0,130	0,143	0,185	0,236	0,211	0,171
Moléculas/ catión	2,0	2,2	1,2	1,8	2,0	4,6	6,0	5,6	4,9
Pérdida 2° efecto, gr/gr (209 a 271 °C)	0,076	0,089	0,0751	0,0751	0,0731	0,0771	0,0951	0,0920	0,1040
Moléculas/ catión	0,9	1,1	0,95	1,0	1,0	1,9	2,0	2,4	3,0
Z/r catiónico	1,67	1,05	0,75	0,67	0,57	3,05	2,02	1,77	1,48

Las conclusiones que se desprenden del estudio comparado de las figuras 1 y 2 y de la tabla III son las siguientes:

1.º El primer efecto endotérmico, que se presenta a temperaturas de alrededor de 55° C para todos los complejos investigados y que va acompañado de una ligera pérdida de peso (fig. 2), debe atribuirse a la eliminación de moléculas de PC o de agua adsorbidas sobre la superficie externa de la arcilla, habida cuenta de que los difractogramas de muestras sacadas del horno después de finalizado, no muestran modificación alguna en los espaciados $d(001)$ con respecto a los complejos de partida.

2.º El segundo efecto endotérmico, con máximos que se presentan a temperaturas que oscilan entre los 149° C del K⁺ y 171° C del Mg²⁺

y que va acompañado por la pérdida de 1 a 2 moléculas de PC por catión para complejos de muestra alcalinas y de 5 a 6 para complejos de muestras alcalinotérreas (tabla III), hay que atribuirlo a la destrucción parcial de los complejos originales, habida cuenta de que el espaciado $d(001)$

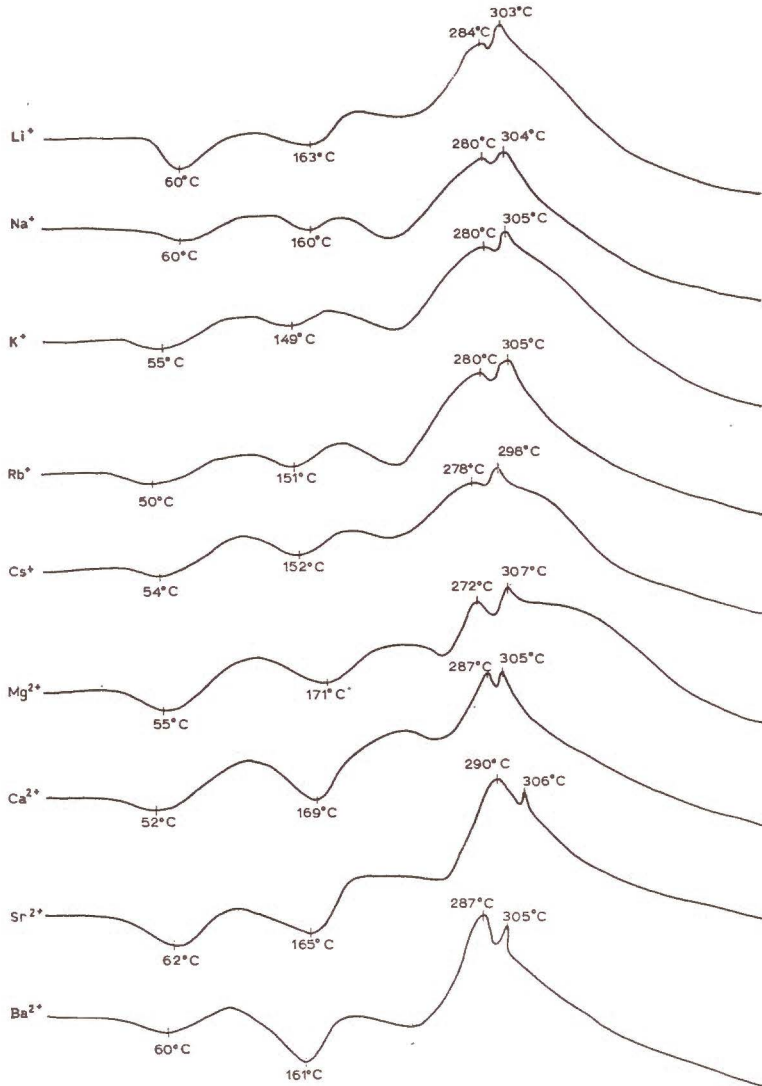


Fig. 1.— Termogramas de los complejos montmorillonita-PC

de las muestras sacadas del horno después de finalizado este efecto, es de 13,5 Å, si exceptuamos la de Ca²⁺, cuyo espaciado basal es 14,4 Å, y la de K⁺, para la que este efecto no modifica el espaciado del complejo original. Hay que admitir, en consecuencia, que durante este proceso,

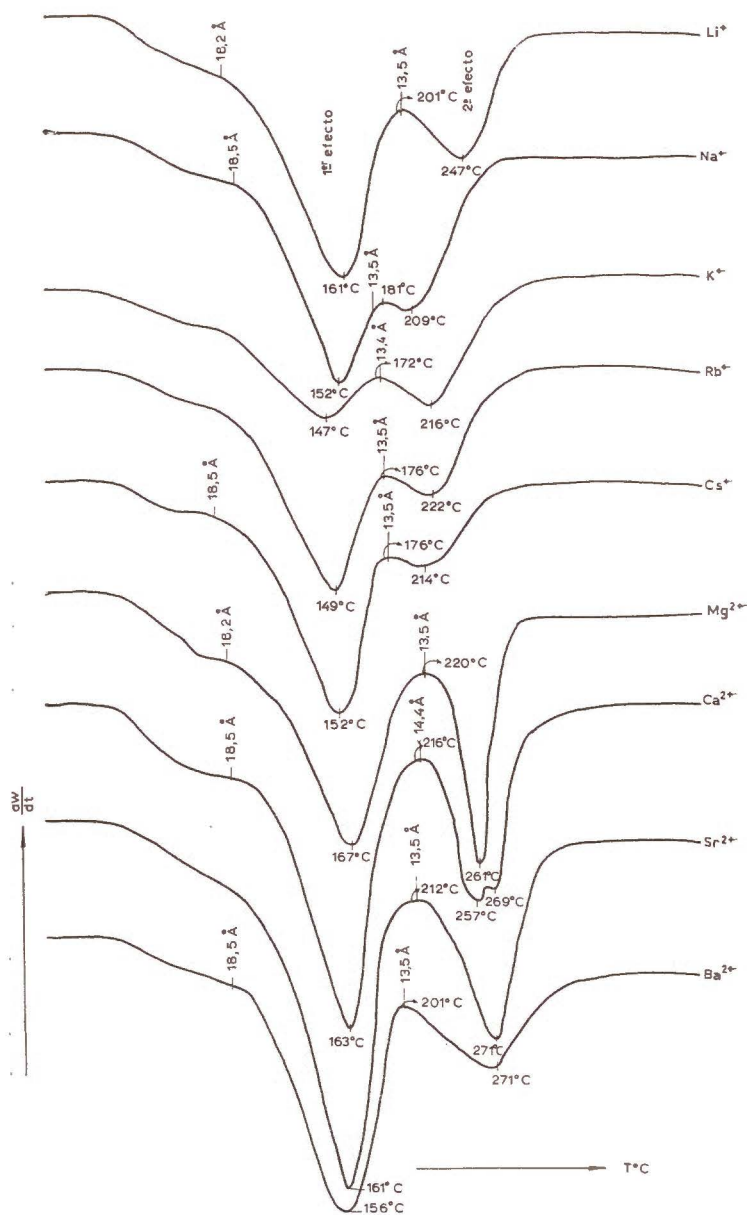


Fig. 2.—Curvas DTG de los complejos montmorillonita-PC

se pierden parte de las moléculas interlaminadas, lo que provoca una contracción del espaciado $d(001)$ de 4,7 Å, para las muestras Li⁺ y Mg²⁺, de 5 Å, para las de Na⁺, Rb⁺, Cs⁺, Sr²⁺ y Ba²⁺ y de 3,8 Å, para la de

Ca^{2+} . La situación de las moléculas del PC interlaminadas, responsables de este efecto en la muestra de K^+ , debe de ser similar a la responsable del espaciado de 13,4 Å, aunque menos favorecidas energéticamente, por lo que su pérdida no afecta a la magnitud del espaciado del complejo original. La temperatura de los máximos endotérmicos sigue la secuencia $\text{Mg} > \text{Ca} > \text{Sr} > \text{Li} > \text{Ba} > \text{Na} > \text{Rb} = \text{Cs} > \text{K}$ análoga a la seguida por el potencial iónico de los cationes (tabla III) y cuya relación puede expresarse por la recta de regresión $t^\circ \text{C} = 146,8 + 9,3 z/r$, lo que revela la influencia del parámetro z/r del catión de cambio en la estabilidad térmica de las moléculas responsables de este efecto.

3.º El tercer efecto endotérmico que se solapa con dos fuertes efectos exotérmicos (fig. 1), producido por la eliminación de una molécula de PC/catión, aproximadamente, para complejos de muestras alcalinas y de 2 a 3 para complejos de muestras alcalinotérricas, corresponde a la destrucción total de los solvatos, apareciendo, una vez finalizados, el espaciado de 9,6 Å de la montmorillonita anhidra. La solapación de los efectos endotérmicos con los exotérmicos de combustión de la molécula orgánica, no permite determinar la temperatura de sus máximos, lo que crea una evidente dificultad para discernir acerca de la influencia del potencial iónico catiónico en la estabilidad térmica de estos complejos. Por ello, y de forma empírica, hemos determinado gráficamente en la figura 2 la temperatura inicial de descomposición de estos complejos (parámetro también representado en dicha figura 2), la cual viene relacionada con el potencial iónico de los cationes de cambio por la expresión $t_i^\circ \text{C} = 168,8 + 19,6 z/r$ ($r_e = + 0,96$), lo que habla en favor de una coordinación de las moléculas responsables de este efecto a los cationes de cambio.

Disposición de las moléculas del carbonato

Lo expuesto en el apartado anterior pone de manifiesto que la adsorción de 1-2 propilen carbonato por montmorillonita se realiza en dos etapas: la primera conduce a complejos de 13,5 Å (14,4 Å para el Ca^{2+}) y la segunda a complejos de 18,2 ó 18,5 Å de los solvatos estables a vacío. A la vista de estos resultados y a partir de las dimensiones de la molécula del carbonato y de los incrementos observados en el espaciado $d(001)$ de los respectivos complejos, hemos intentado obtener información acerca de la posible disposición de las moléculas en los espacios interlaminares.

En la figura 3 se esquematizan las disposiciones más probables de la molécula de PC y sus dimensiones, obtenidas según modelos a escala de Leybold. De su estudio se puede concluir que los complejos de 13,5 Å surgirán por la coordinación a los cationes de cambio de moléculas que adoptan posiciones como las esquematizadas en la figura 4a, con su anillo pentagonal paralelo a las láminas del silicato y el oxígeno del grupo carbonilo orientado hacia los cationes de cambio. A esta disposición le correspondería un espaciado teórico de $9,3 + 4,2 = 13,5$ Å idéntico al experimental. El espaciado de 14,4 Å que presenta la muestra de Ca^{2+} puede justificarse por una disposición análoga a la descrita,

pero con el anillo pentagonal perpendicular a las láminas del silicato, tal como esquematizamos en la figura 4b, lo que conduciría a un espaciado basal teórico de 14,3 Å en buena concordancia con el experimental. Posiciones como las indicadas en las figuras 4a y 4b ya han sido descritas en la bibliografía para complejos de montmorillonita con otras moléculas cíclicas (10). Los dos máximos de descomposición encontrados en la figura 2 para la muestra de Ca^{2+} , correspondientes a la destrucción del complejo de 14,4 Å, pudieran estar relacionados con la coexistencia en este complejo de moléculas en las disposiciones 4a y 4b.

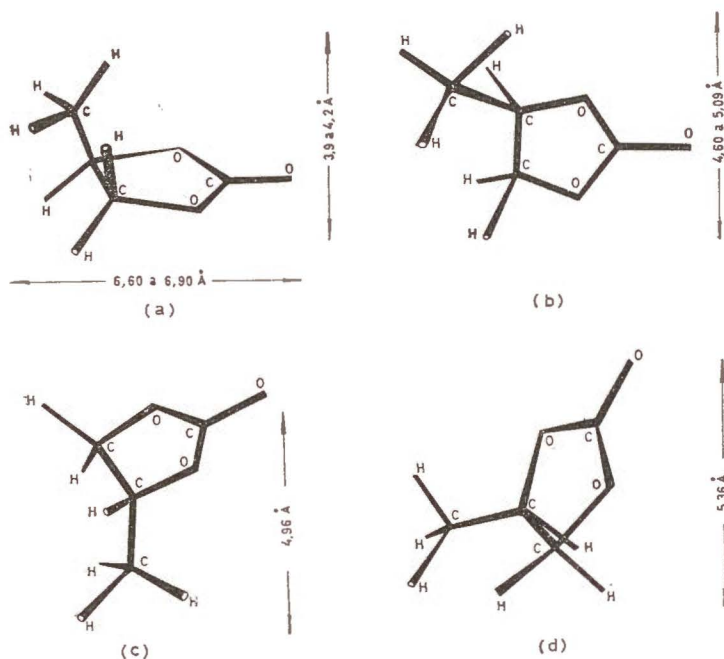


Fig. 3

Los complejos de 18,2 y 18,5 Å podrían surgir por una disposición como la esquematizada en la figura 4c, con moléculas en situación análoga a las de la figura 4a, y otras empujadas hasta apoyar los hidrógenos de los grupos $\equiv \text{CH}$, $= \text{CH}_2$ y $-\text{CH}_3$ en una de las láminas y orientado el oxígeno del grupo carbonilo hacia el catión de cambio. El espaciado $d(001)$ teórico que se encontraría con esta disposición, sería de 18,6 Å, en buena concordancia con el experimental. La situación de estas últimas moléculas debe de conducir a un estado de energía potencial más elevado que las esquematizadas en las figuras 4a y 4b, por lo que su destrucción térmica se realiza a temperaturas menos elevadas. Las muestras de Sr^{2+} y Ba^{2+} dan complejos en fase húmeda (tabla II) de 21,9 y 22,1 Å respectivamente, que podrían surgir por formación

de un solvato bicapa con moléculas orientadas de forma análoga a las de la parte inferior de la figura 4c, pero empujadas, hasta permitir el apoyo de los hidrógenos del grupo metilo en las superficies laminares.

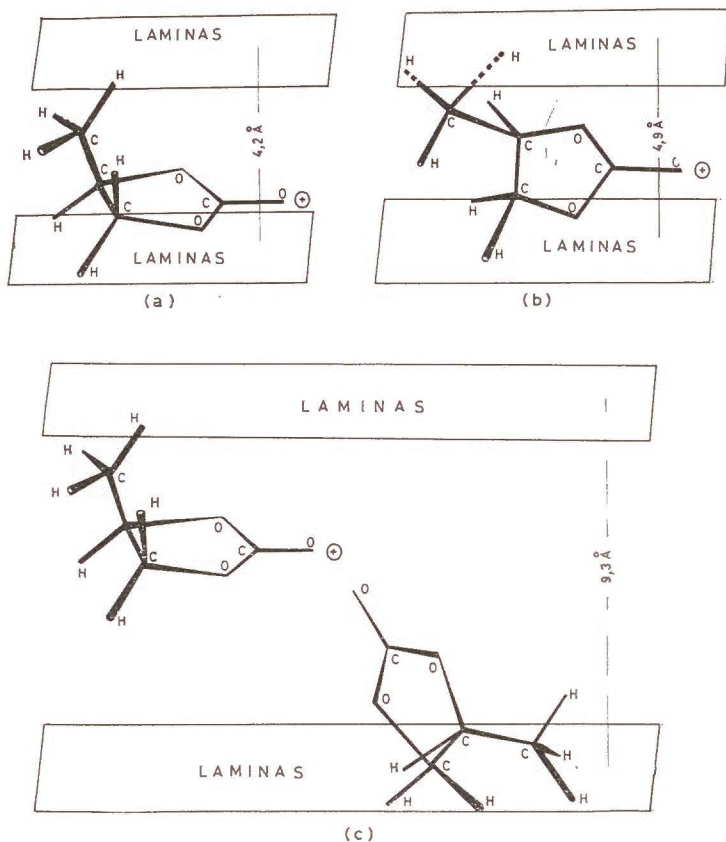


Fig. 4

Si las moléculas del PC interlaminares se coordinan a los cationes de cambio, a través del oxígeno del grupo carbonilo, tal como postulamos para los complejos en las figuras 4a, 4b y 4c, son de esperar desplazamientos a menores frecuencias de la absorción correspondiente a la vibración de tensión del grupo $C=O$, si se compara con el PC libre. Por ello, y para comprobar este extremo, se realizó un estudio por espectroscopía infrarroja de los complejos de Mg^{2+} y Sr^{2+} , en muestras sacadas del horno de A. T. D. después de finalizado el efecto endotérmico de $55^{\circ}C$ (espectros a y b, respectivamente, de la figura 5), y en muestra de Sr^{2+} sacada del horno de A. T. D. después de finalizado el efecto endotérmico de $165^{\circ}C$ (espectro c). En la misma figura, se incluye el espectro de 1-2 propilen carbonato en estado líquido.

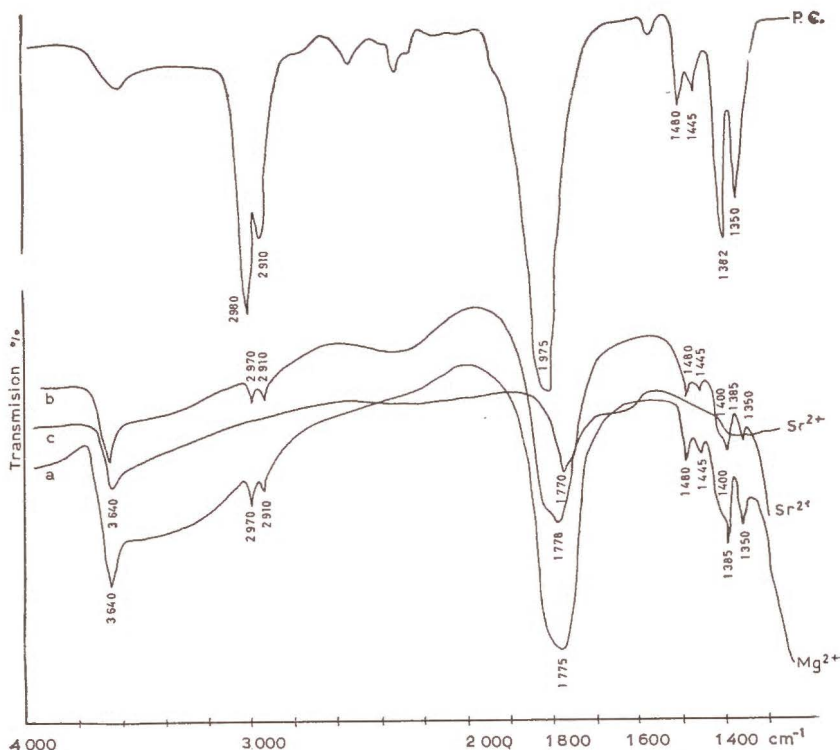
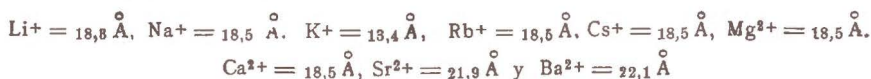


Fig. 5.--Espectros infrarrojos, en fluorolube, de los complejos montmorillonita-PC

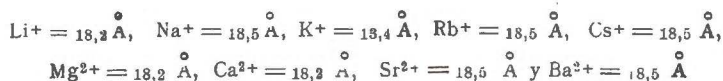
El estudio de los espectros a y b (complejos de 18,5 Å), revela que la banda de vibración de tensión del grupo C = O, que en el líquido se presenta a 1.795 cm^{-1} disminuye en los complejos a 1.775 y 1.778 cm^{-1} , para las muestras de Mg^{2+} y Sr^{2+} respectivamente, lo que apoya la unión del PC al catión, a través del oxígeno del grupo carbonilo. El espectro de la muestra de Sr^{2+} , sacada del horno después del efecto de 165° C (complejo de 13,5 Å), evidencia también una disminución de la banda de vibración del C = O de 1.795 a 1.770 cm^{-1} , más acusada que la obtenida en los complejos anteriores, lo que pone de manifiesto el carácter más fuerte de la unión molécula-catión en estos complejos, puesto ya de manifiesto en el estudio de su estabilidad térmica.

RESUMEN

Se estudia por rayos X los complejos formados por la adsorción del 1-2 propilén carbonato sobre montmorillonitas alcalinas y alcalinotérricas. Los espaciados d(001) de los complejos obtenidos por inhibición son los siguientes:



que por desorción a vacío hasta peso constante, pasan a complejos de espaciados basales de:



El estudio por A. T. D. y D. T. G. de los complejos estables a vacío, muestra que su formación se realiza en dos etapas, la primera de las cuales conduce a complejos de 13,5 Å análogos al del complejo potásico original. Se postula a partir de las dimensiones del propilen carbonato y de los Δ observados en la formación de cada complejo la posible disposición de las moléculas del líquido polar en los espacios interlaminares del silicato. El estudio infrarrojo de los complejos confirma una coordinación del propilen carbonato a los cationes a través del oxígeno del grupo carbonilo.

Estación Experimental del Zaidín.

Sección de Físico-Química y Mineralogía de Arcillas. Granada (España).

BIBLIOGRAFÍA

- (1) BARSHAD, I. (1952). Soil Sci. Am. Proc., 16, 176.
- (2) DIOS CANCELA, G. y GONZÁLEZ GARCÍA, S. (1974). Estudios Geológicos, XXX, 303.
- (3) FENOLL HACH-ALI, P. y MARTÍN VIVALDI, J. L. (1969). An. Fis. Quim., 65, 355.
- (4) GONZÁLEZ GARCÍA, S. y DIOS CANCELA, G. (1965). Estudia Chemica, 1, 37.
- (5) GONZÁLEZ GARCÍA, S. y DIOS CANCELA, G. (1965). An. Fis. Quim., B, LXI, 1037.
- (6) GONZÁLEZ GARCÍA, S. y GONZÁLEZ GARCÍA, F. (1958). An. Edaf. Fisiol. Veg., 12, 993.
- (7) GONZÁLEZ GARCÍA, S., SÁNCHEZ CAMAZANO, M. y DIOS CANCELA, G. (1967). An. Edaf. Agrobiol., 9-10, 1255.
- (8) GONZÁLEZ GARCÍA, S., SÁNCHEZ CAMAZANO, M. y GONZÁLEZ ZAPATERO, M. (1970). Proc. I Reunión Hispano-Belga de Minerales de la Arcilla, 103.
- (9) GONZÁLEZ GARCÍA, S., SÁNCHEZ CAMAZANO, M. y GONZÁLEZ ZAPATERO, M. (1972). An. Edaf. Agrobiol., 1, 2.
- (10) GREENE-KELLY, R. (1955). Trans. Faraday Soc., 51, 484.
- (11) HANDBOOK OF CHEMISTRY AND PHYSICS, 50th Edition (1970).
- (12) KRISHNAM, C. V. y FRIEDMAN, H. L. (1971). J. Phys. Chem., 75 (11), 3598.
- (13) SÁNCHEZ CAMAZANO, M., GONZÁLEZ GARCÍA, S. y FIZ RONCERO, P. (1972). Rep. Inter. Clay Conf., 11, 711.
- (14) SÁNCHEZ CAMAZANO, M., GONZÁLEZ GARCÍA, S. y GONZÁLEZ ZAPATERO, M. (1972). An. Edaf. Agrob., 1, 25.
- (15) VAN ASCHE, J. B., VAN CAUWELAERT, F. H. y ÜYTERHOEVEN, J. B. (1972). Proc. Inter. Clay Conf., 11, 605.

Recibido para publicación: 16-IX-77

ACCION DE LA HIDROLISIS ACIDA SOBRE LOS ACIDOS HUMICOS. COMPONENTE PROTEICA

por

J. CEGARRA y F. COSTA

SUMMARY

EFFECT OF ACID HYDROLYSIS ON THE HUMIC ACIDS. PROTEIC COMPONENT

Effects of the acid hydrolysis on the structure of humic acids extracted from the organic fertilizers sheep-dung and peat are studied.

Results show an increase of the aromatic character and of the condensate molecular structure produced by loss of soluble components as polysaccharides and proteic substances; increase of the rate of free carboxyl groups and changes in molecular weight distribution.

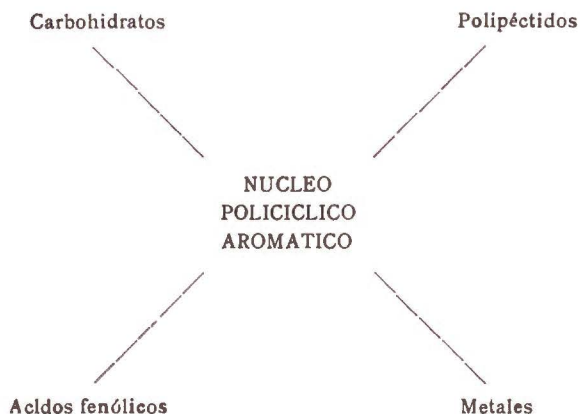
All these changes observed are higher in the humic acids from sheep-dung.

INTRODUCCIÓN

Los ácidos húmicos del suelo se consideran convencionalmente como la fracción del humus formada por la mezcla de compuestos orgánicos, a menudo asociados a otros de naturaleza inorgánica, que precipitan en medio ácido fuerte a partir de soluciones alcalinas de humatos.

Desde un punto de vista clásico se ha sugerido un origen línico para los ácidos húmicos (Kononova, 1966), así como que compuestos de origen no línico, incluso carbohidratos, pueden ser transformados por intermedio del metabolismo microbiano en unidades estructurales para la síntesis de esta fracción del humus. Actualmente parece que los núcleos de los ácidos húmicos se pueden considerar formados por compuestos de degradación de ligninas y taninos junto con productos aromáticos procedentes de síntesis microbianas. Otros compuestos, también de este mismo origen, tales como aminoácidos, péptidos, aminoazúcares y núcleo-proteínas podrían asimismo formar la periferia de estos compuestos húmicos.

Cheshire y col. (1967) sugirieron una estructura para los ácidos húmicos consistente en un «corazón» o «núcleo» aromático al cual se hallarían unidos una serie de compuestos periféricos tales como proteínas, carbohidratos (especialmente polisacáridos), fenoles relativamente simples y metales:



Estos compuestos de la periferia suelen separarse corrientemente del «núcleo» por hidrólisis con CIH 6 N, sosteniéndose por algunos (Riffaldi y col., 1973; Martín Martínez, 1975) que tal separación no afecta grandemente a la estructura básica de los ácidos húmicos y sí, en cambio, es posible obtener de este modo materiales húmicos más a propósito para su investigación y estudio al resultar «purificados» por el proceso hidrolítico.

Aunque, en general, es posible separarlos, no se conoce con certeza la clase de unión de los componentes periféricos al «núcleo» aromático central. En el caso de proteínas y péptidos se ha sugerido, sin embargo, la existencia de enlaces químicos entre este material nitrogenado y los fenoles y quinonas del citado «núcleo» a través de grupos NH_2 aminoácidos que formarían enlaces carbono aromático-nitrógeno, notablemente estables a la hidrólisis ácida (Haider y col., 1965). De este modo las cadenas de naturaleza peptídica formarían ramificaciones laterales en las moléculas de los ácidos húmicos o, según los casos, podrían incluso actuar como puentes de unión entre distintas partes de su «núcleo» aromático (Ladd y col., 1967).

Otras posibilidades son la unión por enlaces de puente de hidrógeno, lo que explicaría la separación con fenol de proteínas a partir de ácidos húmicos (Simonart y col., 1967) o, incluso, una mera unión física por la que los polipéptidos estarían simplemente precipitados o coadsorbidos en el «núcleo» húmico.

En el presente trabajo hemos hidrolizado con CIH 6 N seis ácidos húmicos previamente desmineralizados, repartidos en dos grupos bien diferenciados por haber sido obtenidos a partir de materiales orgánicos de distinta procedencia. Se pretende conocer los efectos que el tratamiento hidrolítico produce sobre tales ácidos y, especialmente, averiguar la constitución de su componente proteica y la incidencia de ésta en la estructura molecular de todos ellos.

MATERIALES

Los ácidos húmicos experimentados han sido tres procedentes de sirle (estiércol de ovino) y otros tres procedentes de turba. Dos, uno de cada grupo (S_0 y T_0), procedían de los materiales orgánicos originales, siendo los otros cuatro (S_1 , S_2 y T_1 , T_2) extraídos después de dos años, a partir de dos suelos (1 y 2) donde tales materiales se agregaron como fertilizantes.

Las características principales de los dos fertilizantes se expresan en la tabla I.

TABLA I
Análisis de fertilizantes

	Sirle	Turba
pH (H_2O)	7,7	4,0
Materia orgánica oxidable %/0	54,1	49,0
Materia orgánica total %/0	78,9	67,3
AH/AF	0,37	2,76
C/N	16,6	27,1

MÉTODOS

Los métodos de extracción y purificación de ácidos húmicos, de determinación de grupos carboxilo, de espectrofotometría, de umbrales de coagulación y de gel filtración han sido ya descritos (Cegarra y col., 1974; Ortiz y col., 1972; Schnitzer y col., 1965; Kononova, 1966; Dorado, 1969).

Los análisis elementales se realizaron con un autoanalizador elemental Perkin-Elmer 240, determinándose directamente C, H y N, dándose el oxígeno por diferencia, después de la correlación de cenizas y humedad.

Los espectros de infrarrojo se registraron entre las frecuencias 4.000 y 400 cm^{-1} en un espectrofotómetro Beckman IR-20A utilizando la técnica de pastillas de BrK.

La hidrólisis ácida se verificó con ClH 6 N (50 ml/250 mg. de material) en atmósfera de nitrógeno a 110° C durante treinta horas. Los hidrolizados se filtraban y se concentraban para eliminar el ClH a presión reducida y menos de 35° C.

La separación y cuantificación de aminoácidos se hizo en un cromatógrafo líquido Hitachi Perkin-Elmer, modelo 034, según la técnica puesta a punto por García (1972).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis elemental

La hidrólisis ácida afecta notablemente a la composición elemental de los ácidos húmicos (tabla II), lo que determina variaciones importantes de las relaciones elementales C/H y C/N. Ambas crecen en los residuos de la hidrólisis, en concordancia con los resultados de otros autores (Riffaldi y col., 1973; Martín Martínez, 1975), si bien es la segunda la que resulta mayormente afectada. Todo ello informa de un aumento del carácter aromático de las moléculas (crecimiento de C/H) y de una fuerte disminución de compuestos ricos en nitrógeno, tales

TABLA II

Transformaciones de los ácidos húmicos por efecto de la hidrólisis (datos libres de humedad y cenizas)

Datos analíticos		A. H. de sirle			A. H. de turba		
		S ₀	S ₁	S ₂	T ₀	T ₁	T ₂
Antes de la hidrólisis	% de elementos						
	C.....	56,7	56,7	54,9	58,9	55,2	54,3
	H.....	5,6	5,8	4,9	4,4	3,6	3,5
	N total.....	4,4	4,4	4,1	2,2	2,1	2,0
	C/H.....	10,1	9,8	11,2	13,4	15,5	15,5
	C/N.....	12,9	12,9	11,2	26,8	26,3	27,1
	COOH (meq/g).....	2,2	2,6	3,1	3,7	3,8	3,8
	Cenizas (‰).....	0,5	2,9	1,4	1,1	1,1	0,9
E ₄ /E ₆	6,5	6,1	6,1	6,0	5,9	6,5	
Después de la hidrólisis	% de elementos						
	C.....	64,2	61,2	59,7	57,1	55,2	54,5
	H.....	5,6	4,8	4,5	3,4	3,2	3,3
	N residual.....	2,3	2,6	2,5	1,3	1,2	1,2
	N aminoácido.....	1,70	1,59	1,51	0,55	0,47	0,48
	C/H.....	11,5	12,8	13,3	16,8	17,2	16,5
	C/N.....	27,9	23,5	23,9	43,9	46,0	45,4
	% N aminoácido en N hidrolizable.....	81	88	94	61	52	60
	% N aminoácido en N total.....	39	36	37	25	22	24
	% N hidrolizable en N total.....	48	41	39	41	43	40
	E ₄ /E ₆	6,1	6,0	5,7	5,1	5,4	5,4

como péptidos y proteínas que son los que, a través del proceso hidrolítico, liberan el alto porcentaje de nitrógeno amino-ácido que se obtiene en ambos grupos de ácidos húmicos.

De acuerdo también con lo anterior, es el nitrógeno el elemento que mayor disminución experimenta como consecuencia de la hidrólisis y, aunque se presente en mucha mayor proporción en los tres ácidos húmicos de sirle, sufre un decrecimiento porcentualmente similar en ambos grupos de materiales, solubilizándose en, aproximadamente, un 42 por 100 del nitrógeno total por término medio en cada grupo. Este resultado es solo ligeramente inferior a los de Czuchajowski y col. (1971), quienes consiguen descensos del 45 y 48 por 100 del Nitrógeno por hidrólisis con CIH 6 N durante veinte horas a 110° C en dos ácidos húmicos de distinta procedencia. Este nitrógeno soluble o hidrolizable, sin embargo, es cuantitativamente diferente para cada grupo de ácidos húmicos, de tal modo que una de sus principales fracciones, la del nitrógeno aminoácido, representa, en términos absolutos, más del triple en los ácidos húmicos del sirle que en los procedentes de la turba y, como porcentaje medio, significa 88 y 58 por 100 del nitrógeno total extraído, respectivamente.

Absorción de la luz en el visible y umbrales de coagulación

La hidrólisis ácida ha afectado también los espectros de absorción en el visible en los dos grupos de ácidos húmicos (figuras 1-a y 1-b), produciéndose un desplazamiento en las distintas longitudes de onda hacia mayores densidades ópticas. Como es sabido, tal desplazamiento se interpreta corrientemente como un incremento en el grado de condensación del anillo aromático y ello está de acuerdo con las conclusiones obtenidas de las variaciones en la relación C/H del análisis elemental. Los cocientes E_4/E_6 también disminuyeron ligeramente por efecto de la hidrólisis (tabla II), lo que refleja igual tendencia hacia mayor condensación molecular. Resultados similares encontraron Riffaldi y Schnitzer (1973) y Martín Martínez (1975).

La determinación de los umbrales de coagulación confirmó la misma tendencia hacia la aromatización creciente, repetidamente observada por las otras técnicas de trabajo, si bien aquí se pudieron detectar, además, ciertas diferencias de comportamiento entre uno y otro grupo de ácidos húmicos. En efecto, es claro que las gráficas representativas de los del grupo de la turba muestran mínimas diferencias de inflexión entre los dos estados de presentarse, antes y después de la hidrólisis ácida, mientras que para el grupo del sirle son manifiestos los distintos comportamientos frente al electrolito, según hayan o no hayan sido hidrolizados dichos materiales (fig. 2-a, 2-b y 2-c), lo que, al menos parcialmente, podría relacionarse con el contenido de nitrógeno aminoácido, que es liberado por la hidrólisis en proporción notablemente más alta en este último grupo de ácidos húmicos (tabla II).

Con base en todos los resultados expuestos, podría concluirse que la hidrólisis ácida separó de nuestros ácidos húmicos buena parte de

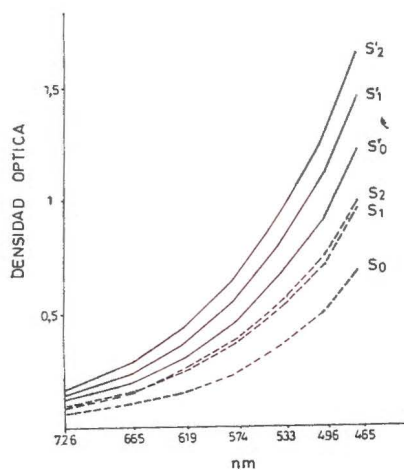


Fig. 1 a.—Espectro visible de los ácidos húmicos del grupo sirle. S_0 , S_1 , S_2 : antes de la hidrólisis. S'_0 , S'_1 , S'_2 : después de la hidrólisis.

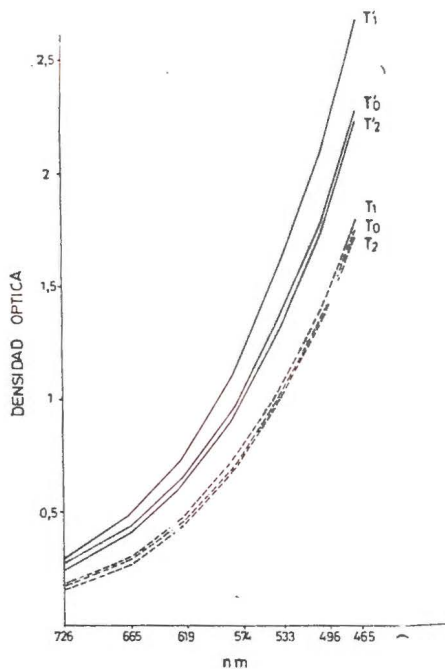


Fig 1 b.—Espectro visible de los ácidos húmicos del grupo turba. T_0 , T_1 , T_2 : antes de la hidrólisis. T'_0 , T'_1 , T'_2 : después de la hidrólisis.

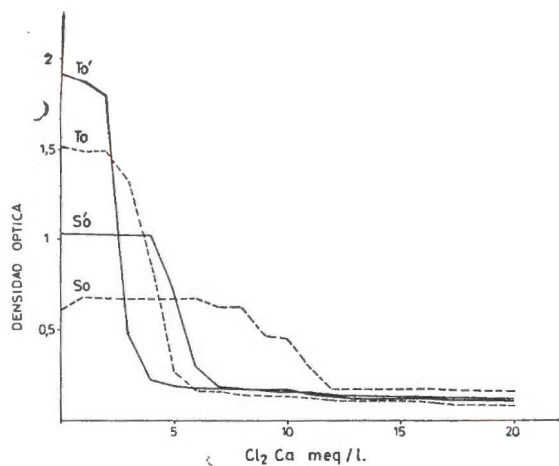


Fig. 2 a.—Umbral de coagulación de los ácidos húmicos originales de turba y sile. T_0, S_0 : antes de la hidrólisis. T'_0, S'_0 : después de la hidrólisis.

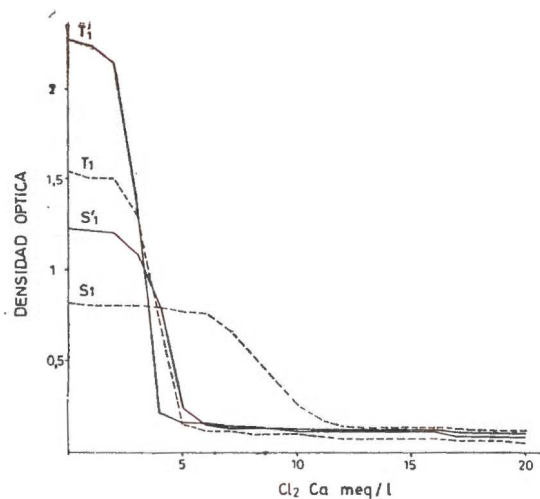


Fig. 2 b.—Umbral de coagulación de los ácidos húmicos de turba y sile extraídos del suelo 1. T_1, S_1 : antes de la hidrólisis. T'_1, S'_1 : después de la hidrólisis.

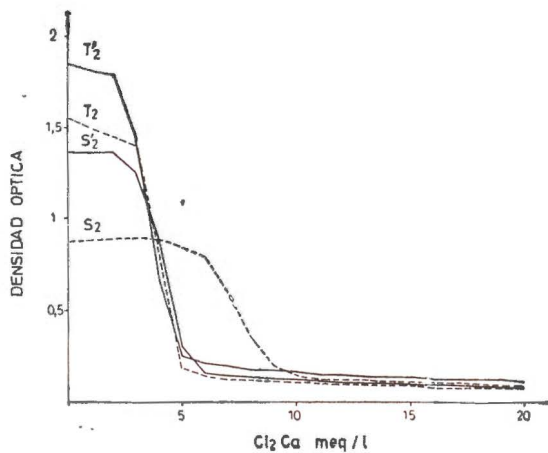


Fig. 2 c.—Umbral de coagulación de los ácidos húmicos de turba y sile extraídos del suelo 2. T_2, S_2 : antes de la hidrólisis. T'_2, S'_2 : después de la hidrólisis.

los compuestos de naturaleza no aromática que forman su periferia, especialmente péptidos y proteínas, con lo que dichos ácidos resultarán enriquecidos en su «componente nuclear» de tipo fundamentalmente policíclico aromático. Este efecto resultó notablemente más acentuado en los tres ácidos húmicos del sirle que, como se ha indicado, eran los más ricos en componentes de aquella naturaleza.

Estudio en el infrarrojo

Los datos conseguidos por esta técnica (fig. 3) demuestran que son siempre los tres ácidos húmicos del sirle los más afectados por el tratamiento ácido, mientras que en los tres procedentes de turba apenas se perciben cambios importantes.

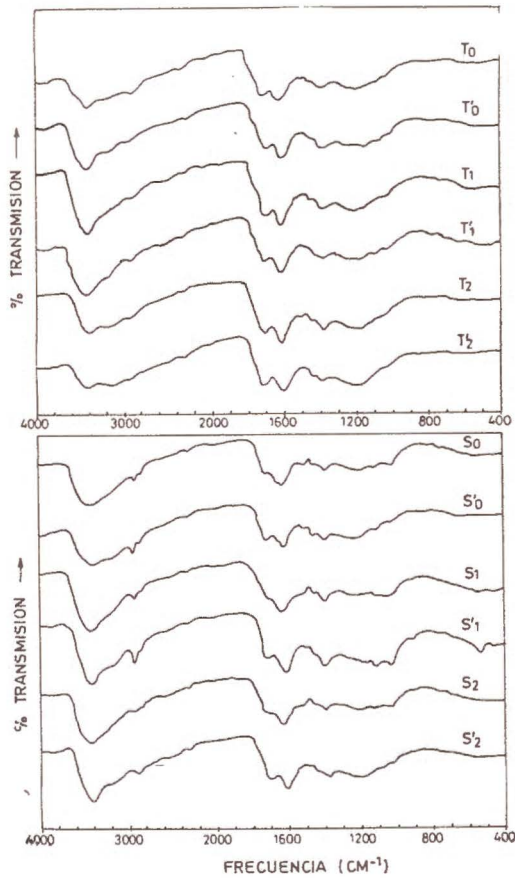


Fig. 3.—Espectro infrarrojo de los ácidos húmicos de turba y sirle. T₀, T₁, T₂, S₀, S₁, S₂: antes de la hidrólisis. T_{0'}, T_{1'}, T_{2'}, S_{0'}, S_{1'}, S_{2'}: después de la hidrólisis.

De acuerdo con lo anterior, es digno de destacar el aumento de absorción registrado después de la hidrólisis en la banda próxima a 2.900 cm^{-1} en el primer grupo de ácidos húmicos citado, lo que se puede interpretar como un aumento de estructuras alifáticas tipo $-\text{CH}-$, $-\text{CH}_2$ y $-\text{CH}_3$. En los ácidos húmicos de turba, en cambio, no es perceptible tal variación. Esta respuesta tan heterogénea al tratamiento ácido en la banda de 2.900 cm^{-1} , según el tipo de ácidos húmicos, es solo parcialmente homologable con otros datos de la bibliografía donde, o la absorción no varía (Stevenson y col., 1971) o incluso disminuye (Martín Martínez, 1975).

También la absorción a la frecuencia de 1.720 cm^{-1} ($\text{C} = \text{O}$ de COOH) crece notablemente en los ácidos húmicos del sirlé y con menor intensidad en los del segundo grupo, lo que es posible interpretar como aumento de grupos carboxílicos en forma ácida como consecuencia de la hidrólisis. De alguna manera, por tanto, el efecto de la hidrólisis sobre los materiales que forman la periferia del núcleo central en los ácidos húmicos, y, especialmente sobre los aminoácidos, contribuiría a dejar en libertad nuevos grupos carboxílicos, en gran parte procedentes de los aminoácidos que aún permanecen unidos a las estructuras aromáticas de dicho núcleo después de la ruptura de uniones peptídicas por el proceso hidrolítico. Estos aminoácidos residuales, en efecto, pueden permanecer unidos a los anillos fenólicos, por ejemplo, formando uniones tipo N-fenilo que según Ladd y Butler (1965) resultan mucho más estables que los enlaces peptídicos del resto de la cadena proteica. Si en los ácidos húmicos S_2 el cambio es menos ostensible, ello puede explicarse simplemente por ser estos ácidos húmicos los que más grupos carboxílicos poseen antes de la hidrólisis y los que menos aminoácidos liberan de todos los de su grupo. El efecto sobre el crecimiento de COOH estará aquí, por tanto, más atenuado. Esta misma explicación es válida para los tres ácidos húmicos del grupo de la turba pues, para todos ellos, la relación grupos carboxílicos/aminoácidos liberados es mucho más desproporcionada (tabla II).

La banda próxima a 1.640 cm^{-1} se asigna corrientemente a una gran variedad de grupos entre los que es posible destacar el doble enlace $\text{C} = \text{C}$ conjugado y de núcleos aromáticos, $\text{C} = \text{O}$ de quinonas y carboxilos, anión carboxilato y doble enlace $\text{C} = \text{N}$. En nuestro caso, es notable un agudizamiento con aumento de absorción en la banda citada, con un desplazamiento simultáneo hacia más bajas frecuencias para los ácidos húmicos procedentes del sirlé; en los tres de la turba tales cambios apenas son perceptibles. El aumento de absorción se puede interpretar como un aumento general de los grupos enumerados anteriormente (excepto el COO^- que pasará a la forma COOH), por efecto de la hidrólisis, si bien es posible que sean los $\text{C} = \text{C}$ aromáticos los que sufren un relativo mayor incremento, especialmente en los tres ácidos húmicos del sirlé, de acuerdo también con la mayor intensidad de color que se registra para todos los materiales en el estudio de densidades ópticas en el campo visible. El corrimiento citado hacia frecuencias más próximas a 1.600 cm^{-1} , puede interpretarse, del mismo modo, como incremento de tal intensidad de color, según los resultados de Stevenson

y Goh (1971), que obtuvieron precipitados insolubles en ácido, de coloración más oscura y más polimerizados, después de la hidrólisis con ClH 6 N de varios ácidos fúlvicos procedentes de un podsol. Por tanto, el aumento de absorción en la banda que comentamos, junto con el desplazamiento aludido, puede relacionarse de acuerdo con los autores citados, con un incremento en la condensación molecular de los ácidos húmicos, posiblemente por polimerización acireductora.

A la frecuencia de 1.510 cm^{-1} aparece una banda de absorción que puede relacionarse con los enlaces peptídicos (Butler y Ladd, 1969). En efecto, ambos grupos de ácidos húmicos manifiestan aquí una absorción, que resulta más acentuada para los tres del sirle, como corresponde al mayor contenido de nitrógeno aminoácido que estos últimos ácidos húmicos liberan por efecto de la hidrólisis (tabla II). Después de este proceso, tanto en unos como en otros disminuye fuertemente la intensidad de la banda que comentamos, llegando casi a desaparecer el pico correspondiente para los ácidos húmicos procedentes de la turba. Podría concluirse, por tanto, que el tratamiento hidrolítico destruye en gran medida los enlaces peptídicos en los materiales de turba, pero en menor grado, los de sirle, de tal modo que una segunda hidrólisis probablemente aún liberaría más aminoácidos de los residuos del primer tratamiento, tal y como encontraron Czuchajowski y col. (1971).

En las proximidades de 1.400 cm^{-1} se observa también una banda de absorción en todos los ácidos húmicos, la cual no parece sufrir cambios importantes como consecuencia de la hidrólisis. Sin embargo, su persistencia después de este proceso debe reflejar la presencia de determinados grupos o estructuras que trataremos de explicar.

De acuerdo con Bailly (1974), la banda en cuestión puede asignarse a grupos carboxilatos, estructuras hidrocarbonadas alifáticas y a una gran variedad de grupos OH. En nuestro caso puede descartarse el COO^- , ya que estamos suponiendo su escasa presencia debido a los procesos previos de purificación de todos los ácidos húmicos antes de la hidrólisis y por la mínima variación de la banda que se observa como consecuencia de este proceso. También las cadenas hidrocarbonadas alifáticas se pueden descartar en gran medida, pues al menos en el grupo del sirle debería acusarse un crecimiento importante de la banda al igual que ocurre con la de 2.900 cm^{-1} . Quedan, pues, como principales responsables de la absorción en la frecuencia que estudiamos los grupos OH, los cuales son también detectables abundantemente en la banda a 3.400 cm^{-1} . Entre tales grupos podemos destacar los de los carboxilos, fenoles y alcoholes. De ellos, se pueden descartar en gran medida los primeros, pues deberían notarse en la banda después de la hidrólisis igual que se observa crecimiento de COOH libres a 1.720 cm^{-1} para el grupo del sirle. Quedan, por tanto, fenoles y alcoholes como responsables más probables de la formación de la banda próxima a 1.400 cm^{-1} y como, por otra parte, no se registra absorción a 1.300 cm^{-1} (alcoholes primarios y secundarios) (Bailly, 1974) podríamos concluir que la banda citada está ocasionada en gran medida por fenoles y alcoholes tercia-

rios y que, a su vez, el tratamiento ácido con ClH 6 N apenas les afecta en ninguno de los ácidos húmicos es estudio.

El resto del espectro presenta un aspecto aproximadamente semejante para ambos grupos de ácidos húmicos, excepto para el S_1 , el cual exhibe una serie de bandas, después del tratamiento hidrolítico, probablemente relacionadas con su mayor contenido en cenizas, las cuales deben proceder fundamentalmente de silicatos, ya que este ácido húmico fue extraído de un suelo de textura fuertemente arcillosa. En efecto, las bandas próximas a 1.050, 690, 525 y 465 cm^{-1} se asignan corrientemente a silicatos y son en el ácido húmico exceptuado las que resultan fuertemente incrementadas por la hidrólisis ácida, ya que el ácido clorhídrico afecta principalmente al material orgánico y muy poco al inorgánico por estar éste compuesto fundamentalmente de estructuras silicatadas.

En este entorno de frecuencias, tres bandas merecen aún consideración especial; se trata de las que se registran cerca de 1.100, 1.050 y 900 cm^{-1} . Las dos primeras se pueden asignar a enlaces Si-O (Schnitzer, 1965) y al enlace C—O—C éter, que puede estar incluido en polisacáridos (Stevenson y col., 1971), mientras que la de 900 cm^{-1} se relaciona frecuentemente con grupos carboxilos libres. En el caso de los tres ácidos húmicos procedentes del sirle se manifiesta un comportamiento similar en las dos primeras bandas citadas; ambas tienden a disminuir después del tratamiento ácido, excepto en el ácido húmico S_1 , es decir, el que presumiblemente mayor nivel de silicatos posee, donde es detectable un claro crecimiento.

Todo esto es explicable aceptando que la hidrólisis ácida libera a los ácidos húmicos de gran parte de su material polisacárido, mientras que no afecta a las estructuras silicatadas procedentes de las arcillas. Como consecuencia, los tres ácidos húmicos del sirle disminuirían su contenido en polisacáridos, si bien en el caso del S_1 se produciría a la vez enriquecimiento relativo en silicatos, por lo que no solo no disminuyen en intensidad las bandas próximas a 1.100 y 1.050 cm^{-1} , sino que incluso crecen, enmascarando de este modo la disminución de los citados polisacáridos. En los ácidos húmicos del segundo grupo, los cambios que estudiamos están mucho más atenuados, como corresponde al presumible menor contenido de carbohidratos presente en estos materiales, a causa del largo período de evolución de la turba.

Por último, la banda próxima a 900 cm^{-1} solo varía en el ácido S_1 , produciéndose un fuerte incremento en su intensidad como resultado de la hidrólisis, mientras no se percibe cambio alguno en los cinco ácidos húmicos restantes. Ello podría ser consecuencia del mayor contenido en cenizas de este ácido húmico, lo cual determinaría, probablemente, una mayor producción de carboxilos libres por efecto del tratamiento aludido, a partir de la presumible mayor riqueza de carboxilatos existentes en este material.

Aminoácidos

El contenido de aminoácidos en ambos grupos de ácidos húmicos se expresa en la tabla III. Se obtuvieron dieciséis de estos compuestos cuya distribución es muy semejante a la observada por Czuchajowski y col. (1971) en dos ácidos húmicos de diferentes suelos, utilizando condiciones de hidrólisis parecidas a las empleadas por nosotros. Por otra parte, dicha distribución es generalmente concordante con las obtenidas, en condiciones análogas, de distintas preparaciones de proteínas vegetales citadas por los mismos autores.

TABLA III

Aminoácidos en ácidos húmicos (resultados expresados como porcentajes de la contribución del N de cada aminoácido en el contenido total de N aminoácido)

	A. H. de sirle			A. H. de turba		
	S ₀	S ₁	S ₂	T ₀	T ₁	T ₂
Lisina	7,0	6,1	6,4	5,4	7,5	7,3
Histidina	3,9	4,4	3,9	5,0	6,0	5,9
Arginina	11,8	11,8	10,9	10,9	12,8	10,5
Ac. Aspártico	13,5	14,5	14,3	9,0	9,9	11,2
Treonina	5,2	5,4	5,4	6,2	6,0	6,4
Serina	5,4	5,3	5,4	5,4	4,8	4,8
Ac. Glutámico	6,1	7,2	7,0	8,6	7,9	8,1
Prolina	3,4	3,0	3,0	3,8	3,8	4,0
Glicina	9,2	9,0	10,2	9,3	9,3	9,1
Alanina	7,1	8,9	8,2	9,5	8,0	8,4
Valina	8,6	8,0	8,6	11,1	9,9	9,7
Metionina	Indic.	Indic.	Indic.	Indic.	Indic.	Indic.
Isoleucina	5,7	4,7	5,0	5,0	4,2	4,6
Leucina	7,1	6,8	7,6	6,8	5,9	6,1
Tirosina	2,6	1,2	1,4	1,2	1,3	1,5
Fenil Alanina	3,5	3,0	2,7	2,8	2,7	2,4

Desde un punto de vista comparativo, ya se ha indicado que se liberó, en términos absolutos, como tres veces más material aminoácido en los tres ácidos húmicos del sirle que en los de la turba, de acuerdo con los datos de la tabla II sobre nitrógeno aminoácido. Este representa, en términos relativos, 37 y 24 por 100 aproximadamente del nitrógeno total en los ácidos húmicos originales del primero y segundo grupo de materiales, respectivamente, mientras que la dife-

rencia de ambos números muestra un fuerte contraste frente a la casi uniformidad del porcentaje de nitrógeno total solubilizado por la hidrólisis en todos los ácidos húmicos (alrededor del 42 por 100 por término medio).

Los resultados expuestos pueden relacionarse, parcialmente, con el notablemente mayor contenido de enlaces peptídicos en los tres ácidos húmicos del sirle detectado por el infrarrojo y están de acuerdo con las experiencias de Ladd y Butler (1965), quienes demostraron, con el auxilio de polímeros sintéticos de p-benzoquinona y catecol con aminoácidos, péptidos y proteínas, que la cantidad de nitrógeno aminoácido liberada por hidrólisis es tanto mayor cuanto más abundante fuera el número de enlaces peptídicos en los materiales originales. Los mismos autores, basándose en las afirmaciones de Mason (1955), que informan de que la incorporación de compuestos amino a polímeros fenólicos lleva consigo la formación de un enlace muy estable entre el átomo de nitrógeno amino y un carbono del anillo aromático, pusieron en evidencia que la hidrólisis de polímeros de benzoquinona-dipéptidos liberaba en mayor cantidad el aminoácido cuyo grupo amino formaba unión peptídica en el péptido reaccionante inicial y que, por tanto, no pudo enlazarse con la benzoquinona antes de la polimerización. De acuerdo con esto, es probable que el material peptídico y proteico esté unido al núcleo de los ácidos húmicos por las indicadas uniones carbono aromático-grupo amino en mayor medida para el caso de los tres ácidos húmicos de la turba que para los del sirle, lo que explicaría, en parte, el menor rendimiento de aminoácidos obtenido por la hidrólisis en los primeros materiales. Si, por el contrario, la hidrólisis fue más efectiva en los ácidos húmicos del sirle, ello sugiere mayor predominio en éstos de otros tipos de enlace del material proteico al núcleo aromático, tales como puentes de hidrógeno e, incluso, mera unión física sin enlace químico alguno (Simonart y col., 1967; Czuchajowski y col., 1971; Hawort, 1971; Sowden y col., 1967).

Tamizado molecular

La filtración sobre «Sephadex» G-75 de los ácidos húmicos, antes y después de la hidrólisis, ha permitido registrar diferentes gráficos todos ellos con típica distribución bimodal, de los cuales hemos obtenido los valores de las variables K_{AV} de la fracción incluida y cociente Exc/Inc o relación entre las máximas absorciones luminosas de la fracción excluida e incluida que se expresan en la tabla IV.

De estos resultados es interesante hacer notar que siempre la relación Exc/Inc fue mayor que uno para los ácidos húmicos del sirle y menor que la unidad para los tres de la turba, lo que sugiere predominio de las fracciones moleculares más gruesas (mayores de 50.000) en los primeros, en contraste con los segundos donde parecen más abundantes las fracciones de menor tamaño molecular. Otro resultado notable fue que la distribución de tamaños moleculares en ambas fracciones incluidas (menores que 50.000) ha sido sensiblemente la misma, de acuerdo con la casi absoluta uniformidad de los valores de sus coeficientes K_{AV} .

TABLA IV

Filtración sobre *Sephadex G-75* de los ácidos húmicos antes y después de su hidrólisis

Variables determinadas		A. H. de sirle			A. H. de turba		
		S ₀	S ₁	S ₂	T ₀	T ₁	T ₂
K _{AV} f. incluida	Antes....	0,96	0,97	0,90	0,92	0,92	0,94
	Después..	0,95	0,92	0,90	0,94	0,94	0,94
Exc /Inc.	Antes....	1,44	1,46	1,19	0,94	0,89	0,98
	Después..	2,08	1,64	1,55	0,89	0,80	0,82

La hidrólisis ácida, por otra parte, sólo alteró los valores de la variable Exc/Inc haciendo aún mayor el contraste en ambos grupos de ácidos húmicos, pero casi no afectó los de K_{AV}. En el caso de los tres ácidos húmicos del sirle la alteración citada consistió en un aumento de Exc/Inc, lo que puede interpretarse como un enriquecimiento relativo en la componente nuclear de naturaleza policíclica aromática por pérdida de gran parte de su componente periférico, de tipo proteico fundamentalmente. En efecto, es sabido que péptidos y proteínas no son detectables a la luz visible (Flaig, 1970) y que suelen acompañar principalmente a las fracciones de peso molecular más alto en los ácidos húmicos del suelo (Ladd y Butler, 1965; Ladd y Brisbane, 1967), por lo que resulta verosímil que el proceso hidrolítico «purifique» más intensamente la fracción excluida o de mayor peso molecular, aumentando consecuentemente su capacidad de absorción de la luz.

En los tres ácidos de la turba los valores de Exc/Inc disminuyen, lo que sugiere un enriquecimiento en la fracción de más bajo peso molecular, probablemente como consecuencia de la diferente manera que péptidos y proteínas están unidos al núcleo policíclico de las moléculas, respecto al otro grupo de ácidos húmicos. Podría ocurrir, en efecto, que en los materiales de turba (altamente envejecidos) los compuestos de naturaleza proteica se encuentren preferentemente muy integrados, formando puentes entre distintas mitades polifenólicas del núcleo húmico, con lo que la ruptura de enlaces peptídicos por la hidrólisis disgregaría su estructura y explicaría así el incremento registrado en la fracción de pesos moleculares más bajos. Ladd y Brisbane (1967) encontraron resultados parecidos incubando, en ausencia y presencia de pronasa, polímeros sintéticos de benzoquinona-caseína y tres ácidos húmicos, obteniendo en todos los casos un notable descenso en la proporción de componentes de más alto peso molecular, como consecuencia de la acción proteolítica del enzima sobre los diferentes sustratos.

CONCLUSIONES

La hidrólisis ácida como técnica para purificar ácidos húmicos libera a éstos de buena parte de su componente periférica, obteniéndose de este modo materiales más homogéneos, si bien no siempre inalterados en su estructura fundamental de naturaleza policíclica aromática.

Los resultados experimentales obtenidos en base a los ácidos húmicos estudiados permiten establecer que el proceso hidrolítico:

Aumentó el carácter aromático y grado de condensación de sus moléculas como consecuencia de la separación de gran parte de compuestos solubles tales como polisacáridos y materiales de naturaleza proteica que constituyen su periferia.

Incrementó también el número de grupos carboxilos libres en todos los casos.

Estos cambios resultaron siempre más acentuados en los tres ácidos húmicos procedentes del fertilizante sirle.

Por último, afectó la distribución de tamaños moleculares en todos los materiales, aunque tal efecto se produjera como aumento de las fracciones más gruesas (mayores de 50.000) en los tres ácidos húmicos del sirle y como disminución en los de la turba. Ello puede explicarse por el diferente modo de relacionarse núcleo y componente proteica, fundamentalmente, en ambos grupos de materiales: los péptidos y proteínas estarían muy integrados en las moléculas húmicas del segundo grupo formando preferentemente puentes entre distintas mitades polifenólicas del núcleo, pero en las del grupo sirle ocuparían probablemente posiciones periféricas escasamente enlazadas con él.

RESUMEN

Se estudian los efectos de la hidrólisis ácida sobre la estructura de los ácidos húmicos procedentes de los fertilizantes orgánicos sirle y turba.

Los resultados indican aumento del carácter aromático y grado de condensación de las moléculas húmicas por pérdida de componentes solubles tales como polisacáridos y materiales proteicos, incremento de grupos carboxilo libres y alteración de la distribución de tamaños moleculares.

Todos los cambios se producen con mayor intensidad en los ácidos húmicos del fertilizante sirle.

Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura. Murcia.

BIBLIOGRAFÍA

- BAILLY, J. R. (1974). Spectroscopie infra-rouge de quelques acides humiques. *Plant Soil*, 40, 285-302.
- BUTLER, J. H. A., LADD, J. N. (1969). Effect of extractant and molecular size on the optical and chemical properties of soil humic acids. *Aust. J. Soil Res.*, 7, 229-239.
- CEGARRA, J., REVERTE, L., LAX, A. y COSTA, F. (1974). Factores que influyen en la extracción y fraccionamiento de la materia orgánica del suelo. *Anal. Edafol. Agrobiol.*, 33, 577-590.
- CHESHIRE, M. V., CRANWELL, P. A., FALSHAW, C. P., FLOYD, A. J. and HAWORTH, R. D. (1967). Humic acid. II. Structure of humic acids. *Tetrahedron*, 23, 1669-1682.

- CZUCHAJOWSKI, L. and ERNDT, A. (1971). Amino acid composition of proteinaceous component of soil humic acids. *Roczniki Gleboznawave*, T. XXII, Z. 1, Warszawa.
- DORADO, E. (1969). Estudio de ácidos húmicos. I. Fraccionamiento por gel-filtración. *Anal. Edafol. Agrobiol.*, 28, 269-283.
- FLAIG, W. (1970). Contribution à la connaissance de la constitution et de la synthèse des acides humiques. *Supp. Bull. Ass. Franç. Et. Sol*, núm. 2 Spécial, 39-72.
- GARCÍA, A. L. (1972). Tesis doctoral. Universidad de Murcia.
- HAIDER, K., FREDERICK, L. R. and FLAIG, W. (1965). Reaction between amino acid compounds and phenols during oxidation. *Plant Soil*, 22, 49-64.
- HAWORTH, R. D. (1971). The chemical nature of humic acid. *Soil Sci.*, 111, 71-79.
- KONONOVA, M. M. (1966). *Soil Organic Matter*. Pergamon Press., Oxford.
- LADD, J. N. and BRISBANE, P. G. (1967). Release of amino acids from soil humic acids by proteolytic enzymes. *Aust. J. Soil Res.*, 5, 161-171.
- LADD, J. N. and BUTLER, J. H. A. (1965). Comparison of some properties of soil humic acids and synthetic phenolic polymers incorporating amino derivatives. *Austr. J. Soil Res.*, 4, 41-54.
- MARTÍN-MARTÍNEZ, F. (1975). Estudio de los ácidos húmicos y fúlvicos extraídos de un podsol. *Anal. Edaf. Agrobiol.*, 34, 689-699.
- MASON, H. S. (1955). Comparative biochemistry of the phenolase complex. *Adv. Enzymol.*, 16, 105.
- ORTIZ, M., SCHNITZER, M. (1972). Extraction of Humic acid by alkali and chelating resin. *Can. J. Soil Sci.*, 52, 365-374.
- RIFFALDI, R., SCHNITZER, M. (1973). Effects of 6 N HCl hydrolysis of the analytical characteristics and chemical structure of humic acids. *Soil Sci.*, 115, 349-356.
- SCHNITZER, M. (1965). The application of infrared spectroscopy to investigations on soil humic compounds. *Can. Spectrosc.*, 10, 121-127.
- SCHNITZER, M., GUPTA, U. C. (1965). Determination of acidity in soil organic matter. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 29, 274-277.
- SIMONART, P., BATISTIC, L., MAYAUDON, J. (1967). Isolation of protein from humic acid extracted from soil. *Plant Soil*, 27, 153-161.
- SOWDEN, F. K., SCHNITZER, M. (1967). Nitrogen distribution in illuvial organic matter. *Can. J. Soil Sci.*, 47, 111-116.
- STEVENSON, F. J., GOH, K. M. (1971). Infrared Spectra of humic acids and related substances. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 35, 471-483.

Recibido para publicación: 13-VII-77

EVALUACION DEL PESO MOLECULAR-PROMEDIO PONDERAL (M_w) DE ACIDOS HUMICOS POR UN METODO COMBINADO DE GEL-FILTRACION Y DIFUSION

por

F. J. GONZALEZ VILA y F. MARTIN MARTINEZ

SUMMARY

ESTIMATION OF THE WEIGHT AVERAGE MOLECULAR WEIGHT (M_w) OF HUMIC ACIDS BY A COMBINED METHOD OF GEL FILTRATION-DIFFUSION

A method to estimate weight average molecular weight (M_w) of humic acids based in the fractionation through Sephadex gels of different degree of cross-linking is proposed. The M_w of the fractions is obtained by interpolation in the calibrated curves of Sephadex G-100 and G-50. The M_w of the fractions separated by G-50 are calculated by its diffusion coefficients.

Los conocimientos actuales sobre la naturaleza química de los ácidos húmicos (HA) sugieren para éstos un carácter aromático y una estructura formada por la distribución desordenada («random») de múltiples componentes orgánicos definidos, entre los que se encuentran polifenoles, péptidos y polisacáridos. El «agregado» posee ciertas propiedades medias que caracterizan el sistema como un todo.

Un dato de importancia teórica y práctica en el estudio de los HA es el de su peso molecular (PM). Su conocimiento puede ayudar directamente a la elucidación de los problemas genéticos de suelos que plantean la migración de HA, su redistribución en el perfil y su efecto sobre los componentes minerales (Schnitzer y Desjardin, 1962; Orlov, 1972), y permitiría una comparación más racional del contenido en HA de distintos suelos, utilizando concentraciones molares de los mismos en vez de porcentajes.

Este dato, sin embargo, dista mucho de estar precisado. Los PM señalados para HA en la bibliografía oscilan entre algunos cientos y varios millones. Esta enorme discrepancia se debe tanto a la diversidad de las técnicas empleadas para su cálculo (obteniéndose en cada caso los distintos PM-promedios empleados en el estudio de sistemas polidispersos) como a las diferencias en origen, método de extracción, grado de purificación, etc., de las muestras (Schnitzer y Khan, 1972).

Dada la extrema polidispersidad de las sustancias húmicas, la Gel-Filtración (GF) ha sido uno de los métodos experimentales más ampliamente utilizado para su fraccionamiento y en la determinación de valores de PM o distribuciones en PM (Cameron et al., 1972a). Las dificultades que plantean las importantes interacciones gel/HA pueden superarse mediante una adecuada elección de las condiciones operacionales (Swift y Posner, 1971; González Vila y Martín, 1976).

Sin embargo, como han señalado muchos autores, para la utilización de esta técnica en el cálculo del PM de HA es necesario el calibrado previo de los geles con fracciones de HA de PM conocidos (Wershaw et al., 1970; Schnitzer y Khan, 1972; Cameron et al., 1972a). El poder de separación de los geles ha sido determinado por los fabricantes empleando fracciones de proteínas y polisacáridos de conformación y PM conocidos, y lógicamente debe variar para HA, muy diferentes en su constitución química a los materiales de calibrado citados.

Teniendo en cuenta esta objeción, en el presente estudio se propone un método para el cálculo del PM-promedio ponderal (M_w) de dos muestras de HA de diferentes características analíticas. Se basa en la subdivisión y clasificación de los polímeros húmicos en razón de su volumen molecular utilizando sucesivamente geles de Sephadex-G de porosidad diferente. El PM de las fracciones se obtiene mediante la utilización de un gel, Sephadex G-100, calibrado por Cameron et al., 1972a para su uso con HA y calculando los coeficientes de difusión de fracciones de menor PM obtenidas por Sephadex G-50, con vistas a corregir los PM de las fracciones obtenidas por dicho gel.

MATERIAL Y MÉTODOS

Las muestras de HA empleadas se extrajeron con NaOH 0,1 N (HAN) y la mezcla Pirofosfato-NaOH 0,1 M (HAP) respectivamente de un Vertisol localizado en El Sorbito, Utrera (Sevilla). Los métodos de extracción y las características físico-químicas de las mismas han sido previamente publicadas (González Vila et al., 1974).

Gel-Filtración

Ambas muestras a pH neutro se fraccionaron mediante el empleo sucesivo de geles de distinto reticulado, empleando Tris a pH 8,5 como eluyente (método de Swift y Posner, 1971). Se ensayó la efectividad de los dos procesos posibles respecto al sentido del fraccionamiento:

a) Sentido A: fraccionamiento de la muestra total por G-100. La fracción retenida en éste se pasó por G-75; la retenida en éste se pasó por G-50 y la incluida en éste por G-25.

b) Sentido B: fraccionamiento inicial por G-25. La fracción excluida se fraccionó por G-50, la excluida de éste se pasó por G-75 y la fracción excluida en éste por G-100.

Las distintas fracciones recogidas para un posterior fraccionamiento se purificaron por refraccionamientos en el mismo gel antes de su fraccionamiento en el próximo de mayor o menor rango.

Cálculo del coeficiente de difusión de dos fracciones obtenidas por G-50

Se fraccionaron 200 mg. de las dos muestras totales por una columna empaquetada con Sephadex G-50, con un

$$V_0 = 74.6 \text{ ml.} \quad \text{y} \quad V_t = 121 \text{ ml.}$$

Del reparto bimodal obtenido (G. Vila y Martín, 1976) se seleccionó en cada caso la fracción incluida. Por refraccionamientos continuos se obtuvo para ambas un pico de elución bien definido, empleándose unos 50 mg. de cada fracción en la determinación de los coeficientes de difusión.

El método empleado, modificación del descrito por Cameron et al., 1972b, utiliza el intenso color de las soluciones de HA. La parte experimental es como sigue: en una cubeta de vidrio de 1 cm² de superficie y 4 cm. de altura se depositaron cuidadosamente con una jeringa 2 cc. de un buffer incoloro (PO₄HK₂ 0,2 M en agua) sobre otros 2 cc. de una solución diluida de la fracción de HA (aprox. 0,01 por 100). La formación de un límite claro de separación entre ambas soluciones se facilitó preparando la disolución de la fracción de HA en PO₄HK₂ 0,2 M en una mezcla de glicerina-agua (10:90). A intervalos de dos horas se hicieron fotografías de las cubetas (con las muestras y replicados) dispuestas en un soporte estático dentro de una habitación termostatada. La concentración del HA difundido se siguió examinando la imagen de los negativos en el microscopio (Ultraphot Zeiss) mediante un sistema óptico electrónico de análisis de imágenes (Microvideomat). Sobre la imagen de la cubeta en la pantalla del Microvideomat se efectuó un barrido de la zona de contacto entre el buffer y la solución de HA con una «ventana» de 2 mm. reales de cubeta. En cada dos mm. se midieron así distintas áreas para varios tonos de grises previamente seleccionados.

Para calcular la difusión en cm/hora se representó la concentración de HA difundido cada dos mm., expresada por el área media del tono de gris medio, frente a cm. a los distintos tiempos en que se realizaron las fotografías.

Calculado el coeficiente de difusión experimental, se efectuó una corrección de viscosidad debida a la disminución de la velocidad de difusión en presencia del gradiente de glicerina, obteniéndose así el coeficiente de difusión standard (D_{20} , agua) del que se obtiene el Mw de la fracción de HA.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los refraccionamientos sucesivos de ambas muestras de G-100 a G-25 (sentido A) y de G-25 a G-100 (sentido B) se presentan en las figuras 1 y 2 (a, b, c, d).

En la fig. 1b se observa que las segundas fracciones obtenidas por G-100 en ambas muestras (II N 100 y II P 100), al pasarlas por G-75 se incluyen totalmente dentro del volumen operacional de este gel sin fraccionarse.

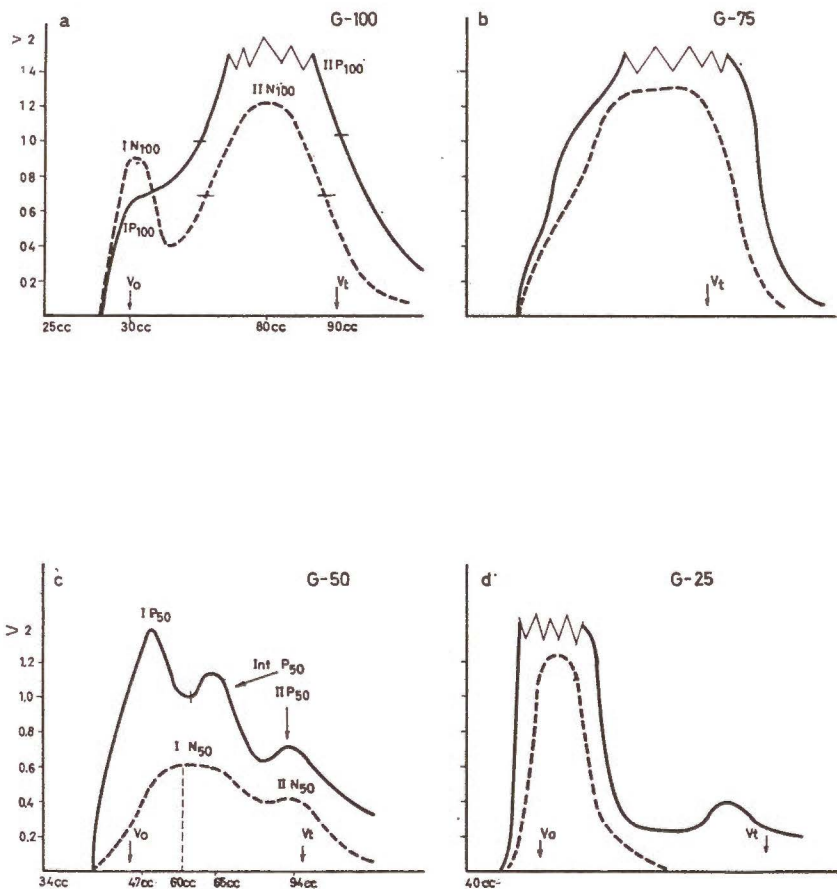


Fig. 1.—Sentido A de refraccionamientos, de G-100 a G-25.

Estas fracciones se pasaron por G-50, distribuyéndose la de HAN en dos fracciones (I N 50 y II N 50) y la de HAP en tres (I P 50, Int P 50 y II P 50) según se observa en la fig. 1c. Las fracciones Int P 50 y II P 50 se pasaron conjuntamente por G-25, obteniéndose dos fracciones bien definidas en el V_0 y V_t de la columna, mientras que la II N 50 sólo presenta una fracción en el V_0 al refraccionarse por G-25 (fig. 1d). En ambos casos se observó una clara absorción al gel G-25 debida probablemente a la existencia en el mismo de grupos COOH libres que lo hacen actuar como un débil cambiador catiónico (Sephadex, Pharmacia Fine Chemicals, Sweden).

Por esta razón, al pasar ambas muestras totales por G-25 (sentido B, figura 2a) se observa una fuerte absorción al gel, quedando la columna irreversiblemente manchada. Aún desconociéndose el verdadero alcance de esta absorción, puede pensarse que afecta a una correcta distribución de las muestras en fracciones. Como se observa en la fig. 2, en este sentido no se mejoró la distribución conseguida en el sentido A, por lo que se eligió éste para la subdivisión de las muestras sin tener en cuenta los geles G-25 y G-75, poco operativos en ambos sentidos.

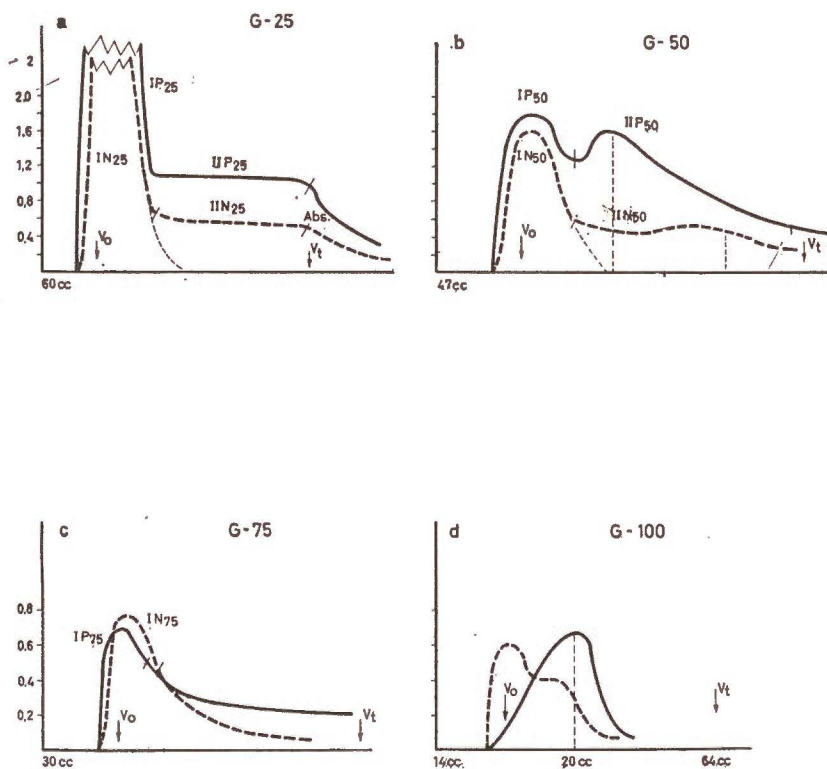


Fig. 2.—Sentido B de refraccionamientos, de G-25 a G-100.

Para la determinación del PM se escogieron tres fracciones de HAN: la excluida por G-100 próxima al V_0 de la columna (I N 100) y las dos obtenidas al refraccionar por G-50 la fracción retenida en G-100 (I N 50 y II N 50). De la muestra de HAP se escogieron asimismo cuatro fracciones: I P 100, I P 50, Int P 50 y II P 50.

Los PM de las fracciones excluidas por G-100 (I N 100 y I P 100), se calcularon interpolando sus respectivos coeficientes de partición (K_{av}) en la curva de calibrado de Sephadex G-100, obtenida por Cameron et al., 1972a con fracciones de HA de PM conocidos, que se muestra en la fig. 3.

Para calcular el M_w de las fracciones obtenidas por G-50 hay que

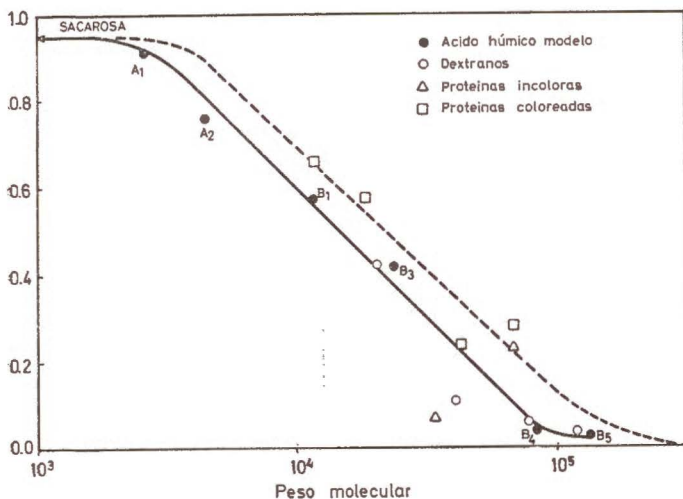


Fig. 3.—Curvas de calibrado de G-100 para ácidos húmicos y otras macromoléculas (Cameron et al., 1972a).

aplicar un factor de corrección al límite de fraccionamientos de dicho gel, toda vez que éste está calculado para proteínas (Determann y Michel, 1966) como se indicó anteriormente. Este factor de corrección se determinó midiendo el M_w de las fracciones obtenidas por G-50 según describe en la parte experimental, a partir de la relación empírica:

$$M_w = f(D_{20, \text{agua}})$$

donde $D_{20, \text{agua}}$ es el coeficiente de difusión en agua a 20° C.

Según Cameron et al., 1972b y comunicación personal, la relación:

$$M_w = 1,4 \times 10^{-8} / (D_{20, \text{agua}})^2 \quad (1)$$

expresando $D_{20, \text{agua}}$ en $\text{cm}^2/\text{seg.}$, resulta válida para valores de M_w comprendidos entre $3,10^3$ y $2,10^5$.

El coeficiente de difusión experimental se obtiene según:

$$D_{\text{exp}} = 0,2749 d^2 / t \quad (2)$$

donde d es la distancia entre dos puntos del gradiente de concentración en cm. y t el tiempo en seg.

Estos parámetros se calcularon a partir de los datos del Microvideomat, presentados en la tabla I y en la fig. 4 para la fracción de HAN.

Como se observa en la fig. 4, se produjo una difusión de 0,35 cm/diez horas, que corresponde a un valor para el coeficiente de difusión experimental, según la expresión (2):

$$D_{\text{exp}} = 0,2749 \cdot 0,35^2 / 33.000 = 9,35 \cdot 10^{-7} \text{ cm}^2/\text{seg.}$$

TABLA I

Cálculo del área media del tono de gris medio para cada 2 mm. de cubeta en la zona de contacto buffer-solución de ácido húmico

Tonos grises	cm. de la cubeta								
	1-1,2	1,2-1,4	1,4-1,6	1,6-1,8	1,8-2	2-2,2	2,2-2,4	2,4-2,6	2,6-2,8
Foto a t = 0 h									
410	6,3	5,9	4,5	0,9	0	0	0	0	0,00
370	9,6	9,6	9,6	9,4	5,0	0	0	0	0
340	9,6	9,6	9,6	9,6	9,2	0	0	0	0
320	9,6	9,6	9,6	9,6	9,6	0,1	0,1	0	0
295	9,6	9,6	9,6	9,6	9,6	1,7	1,7	0	0
Area media del tono de gris medio	8,82	8,73	8,39	7,50	6,27	1,13	0,48	0	0
Foto a t = 10 h									
410	4,6	3,9	2,1	6,7	0	0	0	0	0
370	9,25	9,45	8,35	6,6	1,6	0,01	0	0	0
340	9,5	9,6	9,6	9,45	7,3	1,1	0,1	0,05	0
320	9,55	9,6	9,6	9,6	9,9	5,2	1,20	0,15	0,01
295	9,55	9,55	9,6	9,6	9,6	9,2	7,8	3,5	2,1
Area media del tono de gris medio	8,34	8,22	7,56	6,83	5,12	2,87	1,57	0,63	0,36

Dado que se utilizó una disolución de la muestra en PO_4HK_2 en la parte inferior de la cubeta, con un 10 por 100 de glicerina para conseguir un límite de separación bien definido, es necesario efectuar una corrección de la viscosidad según:

$$D_{20, \text{ agua}} = D_{\text{exp}} \eta T / \eta_{20} \times 293 / T \quad (3)$$

donde

$$\eta T / \eta_{20} = \eta_{\text{ glicerina + PO}_4\text{HK}_2} / \eta_{\text{ PO}_4\text{HK}_2}$$

Este valor calculado experimentalmente fue de 1,095, que sustituido en (3) nos da un valor para el coeficiente de difusión standard:

$$D_{20, \text{ agua}} = 9,85 \times 10^{-7} \text{ cm}^2/\text{seg.}$$

Según la relación (1) la fracción de HAN obtenida por G-50 tiene un Mw de 14,430.

Según el volumen de elución (V_e) de esta fracción el M_w que se obtiene interpolando en la curva de calibrado de G-50 obtenida por Determann y Michel, 1966 con proteínas globulares, es de 17.500. Se obtiene así un factor de corrección de $14.430/17.500 = 0,82$ para el límite de fraccionamientos de dicho gel con HA.

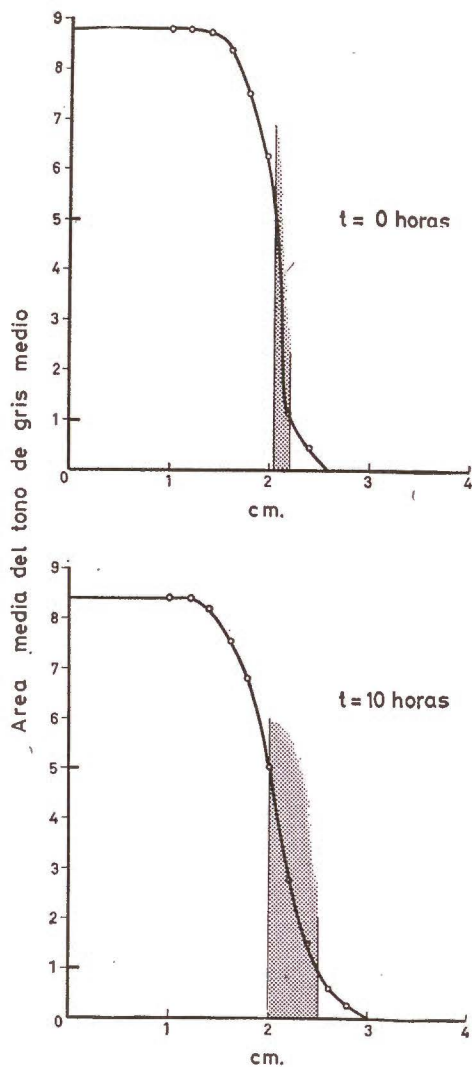


Fig. 4.—Cálculo de la difusión en cm/hora de la fracción retenida en G-50 de HAN.

En la tabla II se presentan los volúmenes de elución y los porcentajes de distribución cuantitativa de cada una de las fracciones, así como los PM de éstas, obtenidos por interpolación en la curva de calibrado

de G-100 y mediante la corrección obtenida para el fraccionamiento por G-50.

TABLA II

Pesos moleculares y porcentajes de distribución cuantitativa de fracciones de HAN y HAP obtenidas por una secuencia de fraccionamientos

Fracciones	K_{av} obs.	V_0/V_0 obs.	% distribución	PM
IN 100	0,132		20,5	76.000 ^a
IN 50		1,27	50,65	17.311 ^b
MIN 50		2,0	28,84	3.287 ^b
IP 100	0,125		5,02	78.000 ^a
IP 50		1,06	46,48	29.110 ^b
INT P 50		1,40	30,26	12.983 ^b
IIP 50		1,0	17,53	3.287 ^b

a: interpolados en la curva de Cameron et al., 1972a de la fig. 3.

b: corregidos por el factor 0,82 en la curva de calibrado de G-50 para proteínas de Determann y Michel, 1966.

El PM de ambas muestras, aplicando la expresión:

$$M_w = \frac{\sum N_i M_i^2}{\sum N_i M_i}$$

para el PM-promedio ponderal (Tanford, 1960), resultó ser de 52.796 para HAN y de 34.326 para HAP.

La marcada diferencia en M_w entre estos dos HA extraídos del mismo suelo, confirma la gran influencia del agente extractor sobre las características del material extraído, anteriormente señalada por muchos autores (González Vila, 1974).

El resultado concuerda en nuestro caso con lo esperado a la vista de las características físico-químicas y espectroscópicas de ambas muestras (G. Vila et al., 1974). El HAN, según los parámetros usuales en la química del humus (razón E_4/E_6 , relación estadística H/C vs O/C, aromaticidad por oxidación al aire, etc.) es un material más alifático y menos condensado que el HAP. Clásicamente se han relacionado estas propiedades con un menor grado de humificación y por ende menor PM. Sin embargo, investigaciones recientes, apoyadas en la variación de las características espectrales con el PM (Ladd, 1969; Swift et al., 1970), relacionan inversamente el grado de humificación y/o aromaticidad con el PM.

Agradecimiento

Los autores desean expresar su agradecimiento al Dr. R. S. Cameron por las sugerencias dadas para la realización del trabajo y al Dr. J. Olmedo por las medidas con el Microvideomat.

RESUMEN

Se propone un método para el cálculo del peso molecular-promedio ponderal (M_w) de ácidos húmicos, basado en el fraccionamiento de los mismos mediante empleo sucesivo de geles de Sephadex de distinto reticulado. El peso molecular de las fracciones se obtiene por interpolación en curvas de calibrado de Sephadex G-100 y G-50. Para el calibrado de G-50 se calcula el peso molecular de fracciones obtenidas por este gel a partir de sus coeficientes de difusión.

*Centro de Edafología y Biología Aplicada del Cuarto.
C. S. I. C. Apartado 1.052. Sevilla.*

BIBLIOGRAFÍA

- CAMERON, R. S., SWIFT, R. S., THORNTON, B. K. and POSNER, A. M. (1972a). Calibration of gel permeation chromatography materials for use with humic acids. *J. Soil Sci.*, **23**, 342-49.
- CAMERON, R. S., THORNTON, B. K., SWIFT, R. S. and POSNER, A. M. (1972b). Molecular weight and shape of humic acid from sedimentation and diffusion measurements on fractionated extracts. *J. Soil Sci.*, **23**, 394-408.
- DETERMANN, H. and MICHEL, W. (1966). The correlation between molecular weight and elution behaviour in the gel chromatography of proteins. *J. Chromatog.*, **25** (303-313).
- GONZÁLEZ VILA, F. J., SÁIZ JIMÉNEZ, C. y MARTÍN, F. (1974). Comparative studies of humic acids extracted with alkaline agents. *Agrochimica*, **18**, 164-172.
- GONZÁLEZ VILA, F. J. (1974). Tesis doctoral, Sevilla.
- GONZÁLEZ VILA, F. J. y MARTÍN, F. (1977). Fraccionamiento de ácidos húmicos de Vertisol por geles de Sephadex. Comportamiento según los métodos empleados. *Anal. Edaf. y Agrob.*, **36**, 1113-1124.
- LADD, J. N. (1969). The extinction coefficients of soil humic acids fractionated by «Sephadex» Gel Filtration. *Soil Sci.*, **107**, 303-306.
- ORLOV, D. S. (1972). Modern chemical and physical techniques for studying the nature and structure of soil humic substances. *Soviet Soil Sci.*, **7**, 461-467.
- SCHNITZER, M. y DESJARDINS, J. G. (1962). Molecular and equivalent weights of the Organic Matter of a Podsol. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, **26**, 362-365.
- SCHNITZER, M. y KHAN, S. U. (1972). Humic substances in the environment. Marcel Dekker. New York.
- SWIFT, R. S., THORNTON, B. K. y POSNER, A. M. (1970). Spectral characteristics of a humic acid fractionated with respect to molecular weight using an agar gel. *Soil Sci.*, **110**, 93-99.
- SWIFT, R. S. y POSNER, A. M. (1971). Gel chromatography of humic acids. *J. Soil Sci.*, **22**, 237-249.
- TANFORD, C. (1961). Physical Chemistry of Macromolecules. John Wiley and Sons Inc. New York.
- WERSHAW, R. L., HELLER, S. J. y PINCKNEY, D. J. (1970). Measurements of the molecular size of a sodium humate fraction. *Advances in R-Ray Analysis*. Vol. **13**, 609-617.

Recibido para publicación: 7-IX-77

ESTUDIO DE LA DISTRIBUCION VERTICAL DE EUMYCETES EN LOS ANDOSOLS DE TENE- RIFE: PERFIL IZAÑA

p o r

G. VIVANCOS GALLEGO y A. M. BORGES ALVAREZ

S U M M A R Y

STUDY ON VERTICAL DISTRIBUTION OF EUMYCETES EN LOS ANDO- SOLS OF TENERIFE: PROFIL IZAÑA

The vertical distribution of fungi in the Izaña soil profile of the Andosols of the Island of Tenerife is studied.

We have used the plate dilution method to isolate the fungal populations, finding out a total of 29 different colonies which we have included in 15 Genera.

After analysing the fungal populations in the different horizons we have observed that the number of fungal colonies per gramme of dry soil and the isolated species decrease according to the soil sample depth in the profile.

Organic matter seems to play an important role in the soil fungi distribution.

We have not found any correlation between the soil moisture and the fungal colonies distribution. We have got greater quantities of fungi in the most acid horizons.

The last part of this study is concerned with the peculiar vertical distribution of some fungi.

I N T R O D U C C I Ó N

La flora fúngica del suelo tiene una gran importancia, especialmente por su influencia en las transformaciones que experimenta la materia orgánica en los procesos de mineralización.

Hemos iniciado estos estudios microbiológicos en los Andosoles de las Islas Canarias, por la importancia que estos suelos tienen en el Archipiélago y por el interés que presentan las características de su materia orgánica.

De acuerdo con los trabajos realizados por Paine (1927), Sewell (1959), Williams (1963) y Söderström (1975) en el estudio de las poblaciones fúngicas del suelo, analizamos en los perfiles de Andosoles la distribución vertical de Eumycetes, procediendo a correlacionar diversos factores del suelo como son: pH, materia orgánica, humedad, etcétera, con la distribución fúngica a diferentes niveles de profundidad.

Elegimos para nuestro estudio un perfil situado en una región de

carácter subalpino, donde el suelo está en equilibrio con formaciones arbustivas muy características de la zona, constituidas por un complejo retamar-codesar.

Las especies arbustivas son: *Spartocytisus nubigenus* W. B., *Spartocytisus supranubium* L. S. (Retama) y *Adenocarpus viscosus* W. B. (Codeso).

En este trabajo se realiza el aislamiento y clasificación de los hongos encontrados. Igualmente, analizamos las variaciones cuantitativas y cualitativas que experimentan las poblaciones fúngicas a diferentes niveles de profundidad.

MATERIAL Y MÉTODOS

Para obtener muestras de suelo, en los diferentes horizontes del perfil, con el objeto de determinar su flora fúngica, empleamos tubos de ensayo, previamente esterilizados.

El tubo de ensayo va protegido por un cilindro metálico hueco (log. 8 cm.; Ø 6 cm.), sin base inferior y la superior perforada, con un calibre que se ajusta al diámetro del tubo y cuya misión es impedir que caigan materiales de zonas superiores del suelo, en el momento del muestreo.

Con el fin de evitar posibles contaminaciones, debidas a corrimientos de tierras, se muestreó, primeramente, la zona más profunda del perfil, continuando progresivamente hacia la superficie. Además, segundos antes de efectuar las tomas de suelo, se limpió la superficie del perfil, donde el vidrio va a incidir, con una espátula esteril, usando una distinta en cada toma (Eicker, 1970).

Se obtuvieron 8 tomas de suelo, a distintos niveles de profundidad. A continuación y en las mismas ocho zonas, se tomaron otra serie de muestras para la determinación del pH, % de materia orgánica, % de carbono y % de humedad.

El equilibrio fúngico de las muestras fue mantenido, en el laboratorio, refrigerándolas a una temperatura de 5° C, y comenzando antes de transcurridas seis horas los análisis de las mismas.

La materia orgánica se analizó por el método Walkey-Blak. El pH se determinó con electrodo de vidrio y calomelanos en relación suelo/agua de 1/2,5.

Para obtener una selección al azar de la flora fúngica total viviente en el suelo, se usó el método de diluciones en placa (Waskman, 1921).

Las ventajas que proporciona la aplicación de este método han sido puestas de manifiesto en los trabajos de Johnson y Curl (1972).

En las cuatro tomas superficiales las diluciones alcanzaron la relación 1/10.000 y en las cuatro más profundas 1/1.000. De cada una de las ocho muestras de tierra, su dilución correspondiente fue sembrada en 6 placas de Petri.

Los medios de cultivo empleados fueron: sabouraud-dextrosa-agar (Difco), pH 5,6 y agar-patata-glucosada (Riker y Riker, 1936).

Para inhibir las colonias bacterianas se usaron antibióticos de gentamicina (Mukerji y Ranga Rao, 1968) y cloranfenicol.

Las placas de Petri se incubaron durante cuatro días a una temperatura de 21 grados centígrados. En el momento en que las colonias fúngicas se diferenciaban morfológicamente unas de otras procedíamos al recuento de las mismas.

Empleamos dos técnicas para la obtención de microcultivos:

- a) Microcultivos en bolsas de polietileno (Vivancos, 1976).
- b) Microcultivos en bloque de agar (Ajello, 1962).

Lugar y condiciones de muestreo

Como señalábamos, fueron los Andosoles los suelos elegidos para este estudio de la flora fúngica. El perfil ándico muestreado fue el de Izaña, situado en la zona de Las Cañadas del Teide, en Tenerife, Islas Canarias.

Los Andosoles de las Islas Canarias han sido estudiados y catalogados por Fernández y Tejedor (1975). El perfil ándico en estudio ha sido ubicado entre los vitrandepts evolucionados.

Sobre el perfil Izaña realizamos un primer muestreo en enero de 1976 y dos más en abril del mismo año.

En cada uno de ellos se efectuaron 8 tomas de suelo. Las cuatro primeras, a las profundidades de 3-4, 5-6, 8-9, 11-12 cm., comprenden el horizonte A.

La quinta muestra a 14-15 cm., en el paso del horizonte A al (B). La sexta, está localizada a la mitad del horizonte (B), 19-20 cm. En el (B)C, a 29-30 cm. y 39-40 cm., las dos últimas muestras.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados, obtenidos del recuento de las colonias fúngicas, crecidas en las placas de Petri y los proporcionados por el análisis químico del suelo, procedentes de tomas efectuadas a diferentes niveles, están indicados en las tablas I (1^{er} muestreo) y II (2.^o y 3^{er} muestreos).

Estos datos, junto con los valores de profundidad (en cm.) a los que obtuvimos las 8 muestras de suelo y el número de colonias fúngicas presentes en un gramo de suelo seco, son expresados e interrelacionados en las gráficas I (1^{er} muestreo) y II (2.^o y 3^{er} muestreos).

Al analizarlas, se observa que el número de colonias fúngicas/gr. de suelo seco sufre un marcado decrecimiento al aumentar la profundidad de la toma en el perfil.

La disminución de las colonias fúngicas al aumentar la profundidad ha sido señalada por diversos autores (Stenton, 1953; Warcup, 1957; Sewell, 1959; Yung y Stenton, 1964).

Igualmente apreciamos que la variación que experimenta la materia orgánica a lo largo del perfil es sumamente correlativa, con la que experimenta el número de colonias fúngicas/gr. de suelo seco.

Los valores de la materia orgánica en el horizonte A, son los más

altos del perfil y se corresponden con el máximo de colonias fúngicas/gr. de suelo seco.

TABLA I

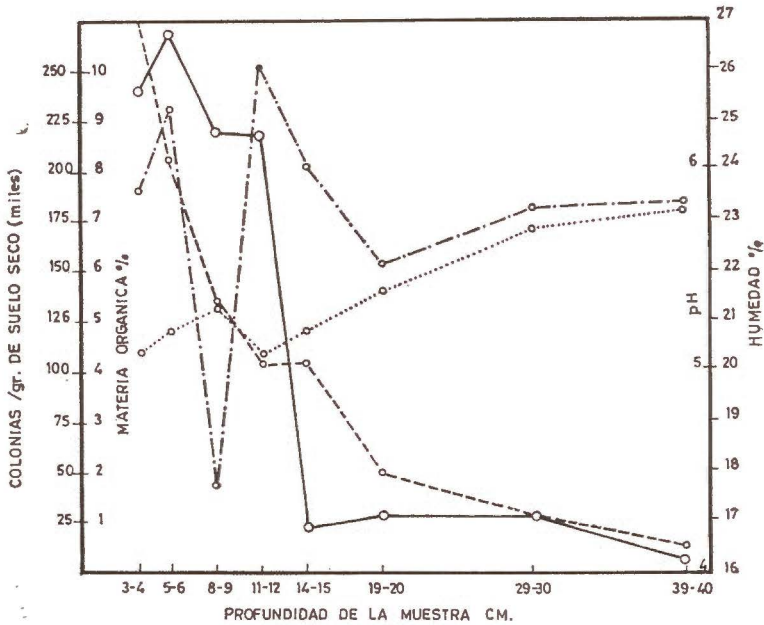
Horiz.	Profund. (cm)	Dilución	Profundidad de la muestra	Contenido de humedad %	pH	Carbono %	Materia orgánica %	Colonias/gramo de suelo seco
		1 : 10000						
			3 — 4	23,68	5,1	6,78	11,68	214491
			5 — 6	25,22	5,2	4,87	8,38	272182
A	0 — 15		8 — 9	17,84	5,3	3,19	5,49	221191
			11 — 12	26,18	5,1	2,46	4,23	229829
		1 : 1000						
(B)	15 — 25		14 — 15	24,16	5,2	2,46	4,23	23458
			19 — 20	22,10	5,4	1,12	1,93	28408
(B) C	25 — 90		29 — 30	23,22	5,7	0,69	1,19	27654
			39 — 40	23,34	5,8	0,26	0,44	5299

TABLA II

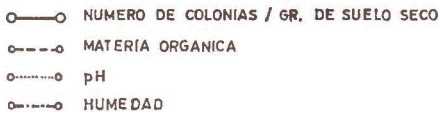
Horiz.	Profund. (cm)	Dilución	Profundidad de la muestra	Contenido de humedad %	pH	Carbono %	Materia orgánica %	Colonias/gramo de suelo seco
		1 : 10000						
			3 — 4	22,00	4,8	6,70	12,92	312224
			5 — 6	22,10	5,1	5,28	9,08	312880
A	0 — 15		8 — 9	22,28	5,3	4,13	7,10	245500
			11 — 12	20,00	5,1	3,03	5,21	212134
		1 : 1000						
(B)	15 — 25		14 — 15	23,84	5,2	1,68	4,89	140826
			19 — 20	21,44	5,6	1,43	4,45	89582
(B) C	25 — 90		29 — 30	21,14	6,0	0,63	1,08	66340
			39 — 40	21,98	6,5	0,33	0,56	18360

Al pasar del horizonte A al (B) observamos una disminución del número de colonias fúngicas/gr. de suelo seco, y asimismo encontramos una progresiva disminución del % de materia orgánica.

En el horizonte (B)C, constatamos los valores mínimos del número de colonias/gr. de suelo seco y de materia orgánica. Estos resultados indican que la materia orgánica es un factor muy determinante en la distribución de los hongos en el suelo. Esta conclusión concuerda con la obtenida por Gray y McMaster (1933); Gray y Taylor (1935); Timonin (1935); Warcup (1951).



Distribución vertical de la población de hongos
1º muestreo

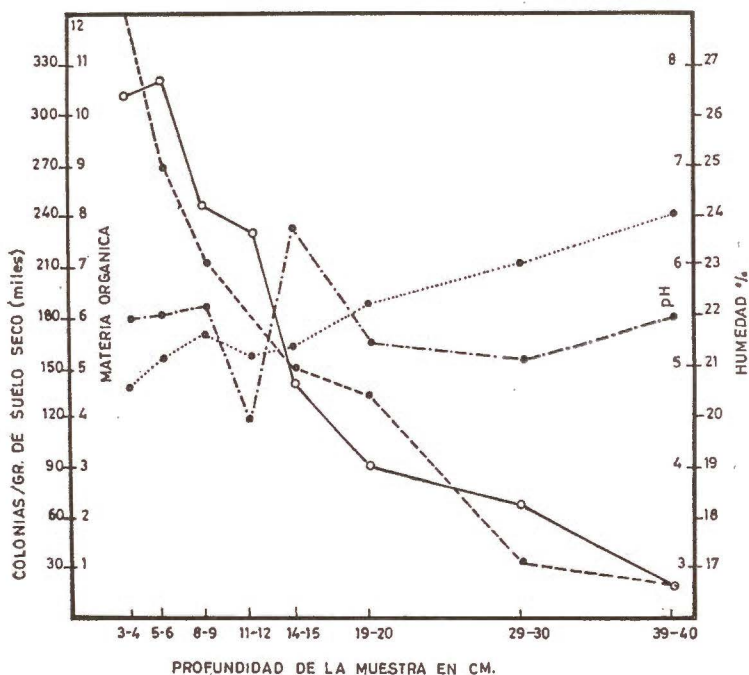


Gráfica 1

Los valores tan constantes del % de humedad en los tres horizontes del perfil no nos ayudan a aclarar las grandes variaciones que experimenta el número de colonias fúngicas/gr. de suelo seco.

Jensen (1934) observa que los suelos ácidos favorecen el desarrollo fúngico. La influencia del pH del suelo sobre la naturaleza de la flora

fúngica ha sido analizada en los trabajos de Parkinson y Bala-sooriya (1967).



Distribución vertical de la población de hongos
2º y 3º muestreos

- NUMERO DE COLONIAS/gr. DE SUELO SECO
- - -○ MATERIA ORGANICA
-○ pH
- · - · ○ HUMEDAD

Gráfica 2

Pese a la poca variación de las medidas de pH a lo largo de los horizontes del perfil Izaña, hay que hacer notar que los valores de pH más bajos, corresponden a altos valores en la relación colonias/gr. de suelo seco. Lo que parece indicar que los hongos se desarrollan, preferentemente, en los horizontes más ácidos.

En la tabla III, indicamos la lista de especies aisladas en el primer muestreo.

Los hongos aislados, procedentes de los muestreos segundo y tercero, están referidos en la tabla IV, ya que el recuento en placa se realizó conjunta y simultáneamente.

TABLA III

Total de colonias en seis placas

Profundidad de la muestra	Horizonte A				Horizonte B		Horizonte (B) C	
	3-4	5-6	8-9	11-12	14-15	19-20	29-30	39-40
<i>Absidia butleri</i>	1	4	0	4	0	4	1	0
<i>Mucor racemosus</i>	0	0	0	3	5	3	2	0
<i>Spicaria violacea</i>	37	35	25	48	65	62	10	5
<i>Mycelia sterilia</i>	0	0	0	0	0	0	2	0
<i>Cylindrocarpon candidum</i>	25	25	26	15	0	18	0	0
<i>Chaetomella</i> sp.	0	1	0	0	0	0	0	0
<i>Trichocladium canadense</i>	0	1	1	0	0	0	0	0
<i>Mortierella vinacea</i>	10	14	8	0	0	0	0	0
<i>Penicillium</i> sp. (XXI)	7	1	9	3	4	25	51	7
<i>Penicillium</i> sp. (XXII)	0	0	0	0	4	4	0	2
<i>Penicillium steckii</i>	22	24	26	15	0	3	0	0
<i>Spicaria elegans</i>	0	0	0	0	0	0	33	0
<i>Penicillium citrinum</i>	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Humicola fuscoatra</i>	0	2	0	0	0	0	0	2
<i>Trichosporon</i> sp.	0	2	0	0	0	0	0	1
TOTAL DE ESPECIES	6	10	6	6	4	7	6	6

En ambas tablas indicamos las colonias halladas de cada hongo en las placas de Petri, así como el horizonte y la profundidad de su aislamiento.

	Primer muestreo	Segundo y tercer muestreo	Comunes
Total de especies aisladas	14	23	9
Total de géneros	10 + 1 [×]	12	7
	1 [×] <i>Mycelia sterilia</i>		

Basándonos en el sistema de clasificación propuesto por Ainsworth (1966), las especies fúngicas aisladas las podemos agrupar:

TABLA IV

Total de colonias en doce placas

Profundidad de la muestra (cm)	Horizonte A				Horizonte B		Horizonte (B) C	
	3-4	5-6	8-9	11-12	14-15	19-20	29-30	39-40
<i>Mucor racemosus</i>	0	0	10	14	20	17	13	0
<i>Absidia butleri</i>	4	2	0	2	0	0	0	0
<i>Spicaria violacea</i>	108	45	32	41	103	167	125	31
<i>Mortierella vinacea</i>	22	31	13	7	2	0	0	0
<i>Humicola fuscoatra</i>	2	17	4	0	0	0	0	0
<i>Penicillium</i> sp. (XXII)	3	1	0	23	31	17	0	5
<i>Gliocladium penicilloides</i>	15	39	41	27	0	0	0	0
<i>Verticillium</i> sp.	35	24	81	79	57	14	12	21
<i>Cylindrocarpon radicolica</i>	1	17	0	0	9	0	0	2
<i>Trichoderma lignorum</i>	25	33	35	12	29	15	10	0
<i>Spicaria elegans</i>	0	0	0	14	39	5	0	24
<i>Penicillium daleae</i>	33	147	22	31	33	12	7	8
<i>Fusarium lateritium</i>	0	3	13	17	0	0	0	0
<i>Penicillium rugulosum</i>	12	32	17	13	0	18	25	7
<i>Cylindrocarpon candidum</i>	71	79	80	37	41	20	0	0
<i>Penicillium steckii</i>	33	27	11	0	0	0	0	0
<i>Verticillium terrestre</i>	3	12	35	8	0	27	39	14
<i>Penicillium oxalicum</i>	0	2	0	0	27	23	33	65
<i>Penicillium chrysogenum</i>	79	130	110	205	24	7	12	0
<i>Cladosporium herbarum</i>	25	32	39	0	29	17	11	9
<i>Gliocladium fimbriatum</i>	29	35	107	79	145	28	0	0
<i>Humicola grisea</i>	0	0	0	32	69	12	15	6
<i>Penicillium</i> sp. (33)	107	75	102	97	34	35	12	7
TOTAL DE ESPECIES	18	20	17	18	16	16	12	12

Comparando las tablas III y IV, apreciamos que en el primer muestreo se aisló un menor número de hongos, y asimismo la frecuencia con que aparecían las colonias fúngicas en las placas era menor.

Tanto las condiciones de toma de muestras en el campo, como de aislamiento fúngico en el laboratorio, fueron idénticas en todos los muestreos. Dadas estas similares condiciones, resalta la alteración fúngica aparecida, que podríamos atribuir a una variación temporal o estacional habida entre enero y abril, meses en los que se llevaron a cabo los muestreos.

		Géneros	%
Eumycota	Mastigomycotina	—	
	Zygomycotina	Mortierella	5.26
		Mucor	5.26
		Absidia	5.26
	Ascomycotina	—	
	Basidiomycotina	—	
	Deuteromycotina	Trichosporon	2.63
		Penicillium	28.93
		Humicola	7.89
		Gliocladium	5.26
		Trichoderma	2.63
		Verticillium	5.26
		Spicaria	10.52
		Cladosporium	2.63
	Trichocladium	2.63	
	Cylindrocarpon	7.89	
	Fusarium	2.63	
	Mycelia sterilia	2.63	
	Chaetomella	2.63	

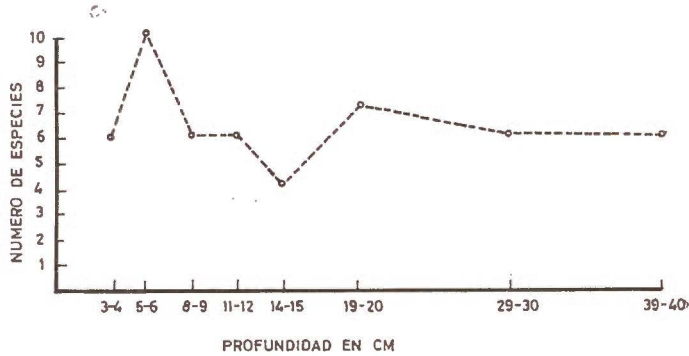
Hemos referido la abundancia en (%).

Este tipo de variación ha sido observada por diversos investigadores (Tresner y col., 1954; Willians y Parkinson, 1964; Nicholas y col., 1965).

La gran cantidad de Mucorales y hongos imperfectos aparecidos acompañada por el nulo aislamiento de Ascomycetes y Basidiomycetes, creemos que están altamente influenciadas por dos factores: a) Método de aislamiento seguido, diluciones en placa, que da preferencia a especies altamente esporulantes, tipo *Penicillium* (Warcup, 1955).

b) Medios de cultivo empleados, ricos en elementos simples o lábiles, que dan rapidez y preferencia de desarrollo a los llamados «sugar fungi», donde podemos encuadrar a los *Penicillium*, *Mucor*, etc. Desfavoreciendo a los de tipo Basidiomycete, que prefieren elementos nutritivos complejos (Dommergues y Mangenot, 1970).

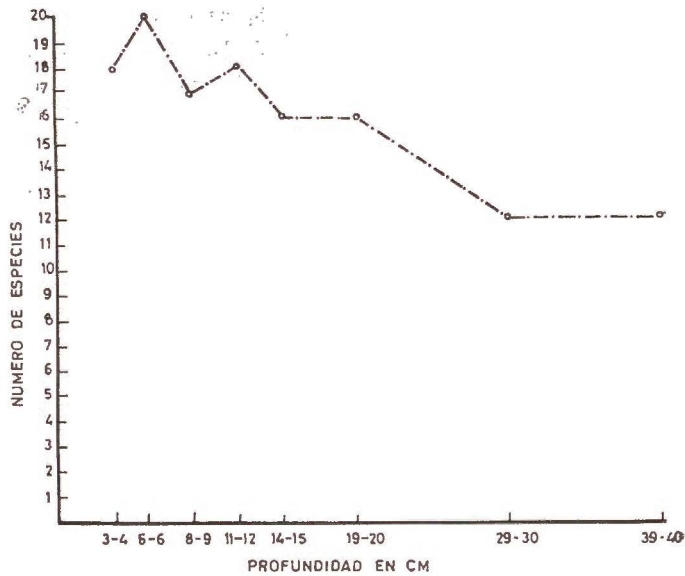
Las gráficas III (1^{er} muestreo) y IV (2.^o y 3^{er} muestreos) nos indican la variación que con la profundidad experimenta el número de especies. En ambos casos, en el horizonte A, a los 5-6 cm. de profundidad tenemos el mayor número de especies, 10 y 20 respectivamente. Hay que hacer notar que estos valores máximos del número de especies aparecidas coinciden con los máximos del número de colonias/gr. de suelo seco.



Variación con la profundidad del número de especies

1º muestreo

Gráfica 3



Variación con la profundidad del número de especies

2º y 3º muestreos

Gráfica 4

La disminución en profundidad de las especies expresada en la gráfica IV es bastante homogénea, con la que experimenta el número de colonias/gr. de suelo seco y los mínimos de ambas coinciden en el horizonte (B)C. En cambio para el primer muestreo (gráfica III), sólo coinciden los valores máximos y no así los mínimos, ya que el mínimo de la relación colonias fúngicas/gr. de suelo seco se alcanza a los 39-

40 cm., horizonte (B)C, y el mínimo del número de especies en el (B) y a los 14-15 cm.

Analizando las tablas III y IV, observamos que las especies fúngicas se reparten en los horizontes del perfil de una forma muy peculiar. Así la *Spicaria violacea*, presenta un gran número de colonias en las placas y también una abundancia constante a través de las distintas profundidades del perfil.

En la tabla IV encontramos otras especies, como: *Verticillium* sp., *Penicillium daleae* y *Penicillium* sp. (33), con presencia constante a lo largo del perfil.

El *Mucor racemosus* se sitúa preferentemente en el horizonte (B), y la *Mortierella vinacea*, *Penicillium stekii* y *Fusarium lateritium* en el A.

En el primer muestreo el *Penicillium* sp. (XXII), sólo se aisló en los horizontes (B) y (B)C, mientras que en la tabla IV se refleja una presencia más o menos constante en todos los horizontes.

El *Penicillium oxalicum* se aisló de forma creciente al aumentar la profundidad de las tomas en el perfil. Igualmente la *Humicola grisea* sólo se aisló por debajo de los 9 cm.

Coincidiendo con la mayoría de los investigadores que han estudiado las poblaciones fúngicas en suelos vírgenes, señalamos al género *Penicillium* como el más abundante. En general, las especies aisladas no difieren, en esencia, de las citadas como frecuentes en suelos de diferentes distribuciones geográficas y condiciones edafológicas y, por tanto, no pueden ser consideradas como específicas de un Andosol.

Afirmándonos en la idea de Waksman, para quien la flora fúngica de suelo a nivel de género es cosmopolita.

Agradecimiento

Queremos expresar nuestro profundo agradecimiento al Prof. Doctor Enrique Fernández Caldas, por todas las facilidades encontradas para la realización de este trabajo en el Centro de Edafología y Biología Aplicada de Tenerife.

RESUMEN

Estudiamos la distribución vertical de los hongos en el perfil Izaña, en los Andosoles de la Isla de Tenerife.

Para el aislamiento fúngico, hemos seguido el método de diluciones en placa, encontrando un total de 29 colonias distintas que agrupamos en 15 Géneros.

Del análisis de las poblaciones fúngicas en los diferentes horizontes observamos que el número de colonias fúngicas/gr. de suelo seco y el de especies aisladas, disminuye con la profundidad de la muestra en el perfil.

Asimismo, la materia orgánica parece determinar la distribución de los hongos en el suelo. No hemos encontrado correlación entre la humedad del suelo y la repartición de colonias fúngicas.

Hemos apreciado una mayor abundancia de hongos en los horizontes más ácidos. Por último, referimos la peculiar distribución vertical de algunos hongos.

BIBLIOGRAFÍA

- AJELLO, L. (1962). Present day concepts of the dermatophytes. *Mycopath. Mycol. Appl.*, 17, 315-324.
- AINSWORTH, G. (1966). A general purpose classification for fungi. *Bibl. Syst. Mycol.*, núm. 1-4.
- DOMMERGUES, Y., MANGENOT, F. (1970). *Ecologie microbienne du sol*. Págs. 38-40, Masson et Cie., París.
- EICKER, A. (1970). Vertical distribution of fungi in Zululand soils. *Trans. Br. Mycol. Soc.*, 55, 45-57.
- FERNÁNDEZ CALDAS, E., TEJEDOR, M. (1975). Andosoles de las Islas Canarias. Pág. 130, Editorial Confederación Española de Cajas de Ahorros, núm. 29, Santa Cruz de Tenerife.
- GRAY, P., MC MASTER, N. (1933). A microbiological study of podsol soil profiles. *Can. J. Res.*, 8, 375-389.
- GRAY, P., TAYLOR, C. (1935). A microbiological study of podsol soil profiles. III. Laurentian soils. *Can. J. Res.*, 13, 251-255.
- JOHNSON, L., CURL, E. (1972). *Methods for research on the ecology of soil-borne plant pathogens*. Pág. 24, Burgess Publishing Company, Minneapolis.
- JENSEN, H. (1934). Contribution to the microbiology of Australian Soils. *Proc. Linn. Soc. N. S. W.*, 59, 200-211.
- MUKERJI, K., RANGA RAO, V. (1968). Gentamicin as an antibiotic in dilution plates for the isolation of soil fungi. *Plant and Soil*, 29, 331-332.
- NICHOLAS, D., PARKINSON, D., BURGESS, N. (1965). Studies of fungi a podzol. *J. of Soil Science*, 16, 258-269.
- PAINE, F. (1927). Studies of the fungous flora of virgin soils. *Mycologia*, 19, 248-268.
- PARKINSON, D., BALASOORIYA, I. (1967). Studies on fungi in a pine-wood soil. *Rev. Ecol. Biol. Sol.*, 4, 463-478.
- SEWELL, F. (1959). The ecology of fungi in Calluna-heathland soils. *New. Phytol.*, 58, 5-15.
- SÖDERSTRÖM, B. (1975). Vertical distribution of microfungi in a spruce forest soil in the South of Sweden. *Trans. Br. mycol. Soc.*, 65, 419-425.
- STENTON, H. (1953). The soil fungi of Wicken Fen. *Trans. Br. mycol. Soc.*, 36, 304-314.
- SEWELL, G. (1959). Studies of fungi in a Calluna-heathland soil. *Trans. Br. mycol. Soc.*, 42, 343-353.
- TIMONIN, M. (1935). The microorganisms in profiles of certain virgin soils in Manitoba. *Can. J. Res.*, 13, 32-46.
- TRESNER, H., BACKUS, M., CURTIS, J. (1954). Soil microfungi in relation to the hardwood forest continuum in Southern Wisconsin. *Mycologia*, 46, 314-333.
- VIVANCOS, G. (1976). Estudio micológico y epidemiológico de los dermatofitos de la provincia de Santa Cruz de Tenerife. Pág. 25. Aula de Cultura de Tenerife. Santa Cruz de Tenerife.
- WILLIAMS, S. (1963). The distribution of fungi in the horizons of a podsolised soil. *Soil Organisms. Proc. Colloquium on Soil Fauna, Soil Microflora and their relationships*. Oosterbeek, Sept., 1962, 158-166.
- WAKSMAN, S. (1921). A method for counting the number of fungi in the soil. *J. of Bacteriology*, 7, 339-341.
- WARCUP, J. (1957). Studies on the occurrence and activity of fungi in a wheat-field soil. *Trans. Br. mycol. Soc.*, 40, 237-259.
- WARCUP, J. (1951). The ecology of soil fungi. *Trans. Br. mycol. Soc.*, 34, 376-399.
- WILLIAMS, S., PARKINSON, D. (1964). Studies of fungi in a Podzol. *J. of Soil Science*, 15, 331-341.
- WARCUP, J. (1955). On the origin of colonies of fungi developing on soil dilution plates. *Trans. Br. mycol. Soc.*, 38, 298-301.
- YOUNG, C., STENTON, H. (1964). A study of the Phycomycetes in the soils of Hong Kong. *Trans. Br. mycol. Soc.*, 47, 127-139.

ECOLOGICAL IMPORTANCE OF ANTIBIOTICS IN SOIL: PRODUCTION OF ANTIBIOTICS BY SPECIES OF *PENICILLIUM* IN AN ANDOSOL IN THE PROVINCE OF NAVARRA, SPAIN

by

A. T. MARTINEZ and C. RAMIREZ

RESUMEN

IMPORTANCIA ECOLOGICA DE LOS ANTIBIOTICOS EN EL SUELO: PRODUCCION DE ANTIBIOTICOS POR ESPECIES DE *PENICILLIUM* EN UN ANDOSUELO DE LA PROVINCIA DE NAVARRA

La capacidad productora de antibióticos por mohos ha sido examinada en 193 cepas pertenecientes a 30 especies del género *Penicillium*, aisladas de un andosuelo a distintos niveles y en las cuatro estaciones del año, frente a microorganismos testigo.

El porcentaje de cepas capaces de sintetizar estas sustancias aumentaba en las circunstancias de mayor actividad microbiana, esto es, con la disminución de la profundidad (exceptuando el horizonte de superficie durante el otoño y el invierno), en la superficie de las hojas y en primavera de la forma siguiente: 25 por 100 presentaban actividad frente a *Proteus morganii*, 36 por 100 frente a *Staphylococcus aureus* (productor de penicillinasa), 51 por 100 frente a *Bacillus subtilis* y 3 por 100 a *Candida albicans*. En cambio en otoño, el espectro de actividad antibiótica variaba del modo siguiente: 28 por 100 frente a *P. morganii*, 48 por 100 frente a *S. aureus*, 44 por 100 frente a *B. subtilis* y 2 por 100 frente a *C. albicans*. Estos hechos podrían achacarse al papel desempeñado por los antibióticos sobre las interacciones entre los microorganismos del suelo.

INTRODUCTION

The ecological role of antibiotic synthesis by microorganisms in soil has been a matter of controversy. One of the main reasons for it has been the difficulty of antibiotic detection in soils. It seems, at present, that antibiotics play an important role in soil when certain substances are present and also at the level of some microhabitats.

The present study was conducted to determine antibiotic production by strains of moulds of the genus *Penicillium*. We find in the literature several works dealing with antibiotic production by microfungi of this genus isolated from a variety of soils. Ordin (1952) found that the percentage of antibiotic-producing strains increased with the increase

of the biological activity of soil. Kochetkova (1957), studying 1722 strains of *Penicillium* isolated from a great diversity of Russian soils, concluded that the percentage of antibiotic-producing strains and the antibacterial spectrum decreased from South to North and with increasing altitudes. Jefferys *et al.* (1953) and Eicker (1975), established the ecological significance of antibiotic production and its association with the dominance of certain fungi in soil. Other authors (see Brewer *et al.* 1972) found seasonal variations in the antibiotic synthesis capacity of soil microfungi. Hill (1972) and Mirchink *et al.* (1961) demonstrate the presence of antibiotics in soil, with the findings by the latter investigators that sucrose greatly enhanced its production in the same substrate. Several other works dealing with this matter may be found in the literature (Agha, 1972; Bilai, 1963; Brewer *et al.* 1971 and 1974; Brian, 1960; Gause, 1960; Marchisio *et al.* 1972; Tumarkin, 1958), but because an exhaustive review of the subject would be beyond the scope of the present paper, we believe that with the above authors we may gather the actual knowledge on the ecological role of antibiotic synthesis by soil microfungi.

MATERIALS AND METHODS

The Study Area

The soil under study, a typical Andaquepts (see Iñiguez *et al.* 1974), is located at the Oroquieta Pass at 800 m above sea level, at the Province of Navarra (Spain). Two horizons may be distinguished in it: A₀₀ and A₁, the latter one being divided in several sub-horizons. The vegetation is composed by an acid beech forest (see Monserrat, 1968) under temperate climate with high rainfall (see Liso *et al.* 1969). Previous investigations carried out in our laboratory (see Martínez *et al.* 1978) on the microbiology and microfungal community of this soil are the foundations of the present work.

Microbiological Assay Methods

The fungi under study were isolated from the various horizons (A₀₀, A₁₁, and A₁₂) at each season of the year following three different techniques: 1) by plating soil dilutions, 2) by plating washed soil particles (see Bisset *et al.*, 1972) and 3) by isolating from the leaf surface (see Last, 1955). In all cases the medium utilized had the following composition: 2 % glucose, 0.5 % yeast extract (Difco), 1.0 % agar, at a pH of 6.6. Before use, the medium was molten and maintained at 45° C, and Pfizer oxytetracycline hydrochloride was added at a final concentration of 0.01 %. It was dispensed on Petri plates (20 ml per plate). After inoculation, the plates were incubated at 27° C.

Antibiotic production was investigated by the usual streaking technique on Petri plates (see Raper and Thom, 1968). Four strains of bacteria from our collection, *Bacillus subtilis* IJFM 423, *Proteus morgani* IJFM 642, *Staphylococcus aureus* IJFM 824 (penicillase-producing

strain) and *Candida albicans* IJFM 2678, were used as test organisms, considering as positive an inhibition halo superior to 5 mm of diameter.

TABLE I

Percentages of active strains against the four test microorganisms

	Dilution			Washing		Leaves	Whole Profile
	A ₀₀	A ₁₁	A ₁₂	A ₀₀	A ₁₁		
WINTER							
No. strains	16	11	11	1	0	7	46
<i>P. morganii</i>	6	9	0	0		14	7
<i>S. aureus</i> p. r.	31	36	27	0		57	35
<i>B. subtilis</i>	44	55	36	0		43	43
<i>C. albicans</i>	0	9	0	0		0	2
SPRING							
No. strains	10	2	1	7	0	5	25
<i>P. morganii</i>	50	0	0	57		40	44
<i>S. aureus</i> p. r.	60	0	3	86		80	64
<i>B. subtilis</i>	80	50	0	86		80	76
<i>C. albicans</i>	10	0	0	0		0	4
SUMMER							
No. strains	18	13	11	5	6	19	72
<i>P. morganii</i>	17	23	9	40	33	47	28
<i>S. aureus</i> p. r.	56	38	36	80	33	53	49
<i>B. subtilis</i>	56	54	27	80	33	67	53
<i>C. albicans</i>	6	8	9	0	0	0	4
AUTUMN							
No. strains	8	14	6	13	6	3	50
<i>P. morganii</i>	25	14	33	23	50	67	28
<i>S. aureus</i> p. r.	25	43	50	46	67	100	48
<i>B. subtilis</i>	25	36	33	54	50	100	44
<i>C. albicans</i>	0	0	0	8	0	0	2
WHOLE YEAR							
No. strains	52	40	29	26	12	34	193
<i>P. morganii</i>	21	15	11	35	42	41	25
<i>S. aureus</i> p. r.	44	38	34	62	50	62	36
<i>B. subtilis</i>	53	48	31	65	42	65	51
<i>C. albicans</i>	4	5	0	4	0	0	3

RESULTS

Table 1 shows the percent of active strains against the four test microorganisms and the total amount of strains isolated in each horizon and season of the year with the different isolation techniques. Fig. 1 and 2 represent graphically the results of table 1.

Table II shows the percent of antibiotic-producing strains found for each species of mould. We have to add to all species shown in table II, seven more that were isolated only once. Among them, *Penicillium*

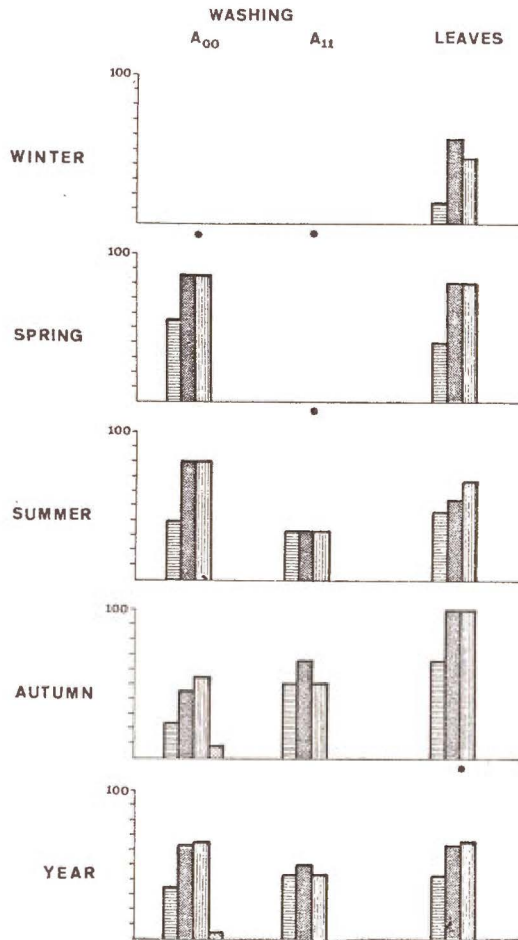


Fig. 1.—Percentages of active strains against *P. morgani* (horizontal streaks), *S. aureus* p. r. (points), *B. subtilis* (vertical streaks) and *C. albicans* (diagonal streaks), isolated by soil washing and from the leaf surface. No. of strains inferior to 5.

purpurogenum var. *rubri-sclerotium* Thom, *P. phaeojanthinellum* Biourge, *P. variable* Sopp, *P. velutinum* van Beyma and *Penicillium* sp., showed antibiotic activity, while *P. cyclopium* Westling and *P. digitatum* Saccardo did not show any activity.

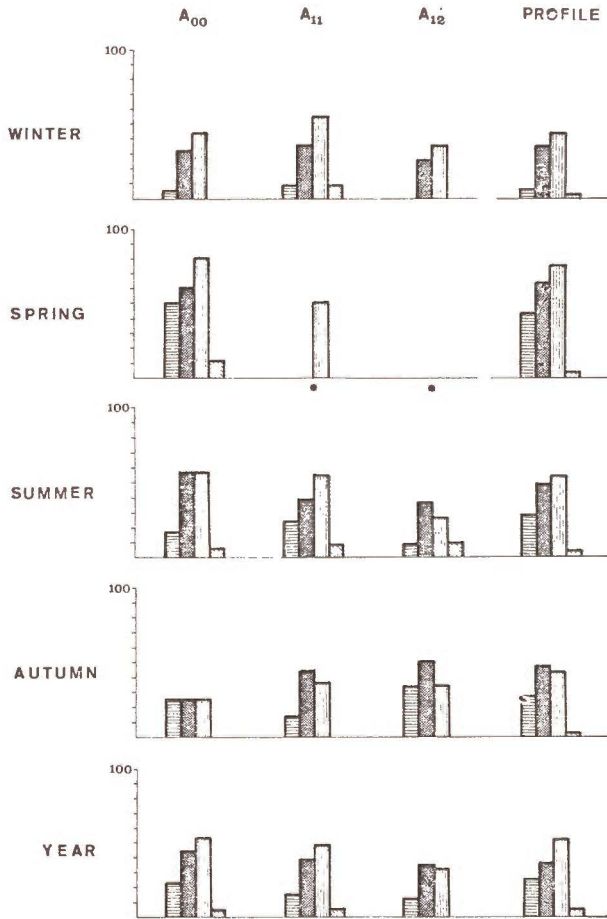


Fig. 2.—Percentages of active strains isolated by soil dilution and total percentages in each horizon and season of the year. No. of strains inferior to 5.

DISCUSSION

The variations in the antibiotic capacity of isolated fungi are due to the microorganisms competition in the soil and not on Petri plates, because bacteria were eliminated from them by the addition of terramycine to the isolation medium. Furthermore, the interactions:

between microfungi has little influence on the results, since the percentage of strains isolated with antifungal capacity was very low compared with their antibacterial activity. On the other hand, both values differed along time and space.

TABLE II

Percentages of strains with antibiotic activity for each species

	No. of strains	% of active strains
<i>P. notatum</i> Westling	10	100
<i>P. chrysogenum</i> Thom.	4	100
<i>P. urticae</i> Bainier	3	100
<i>P. viridicatum</i> Westling	3	100
<i>P. paxillii</i> Bainier	2	100
<i>P. purpurogenum</i> Stoll	2	100
<i>P. thomii</i> Maie	45	80
<i>P. spinulosum</i> Thom	7	86
<i>P. simplicissimum</i> Thom ex Oudemans (atypical)	11	73
<i>P. decumbens</i> Thom	5	60
<i>P. casei</i> Staub	4	50
<i>P. cilrinum</i> Thom	2	50
<i>P. multicolor</i> Grigorieva-Manoilova et Poradielova	2	50
<i>P. waksmani</i> Zaleski (atypical)	2	50
<i>P. nigrican</i> (Bainier) Thom	36	36
<i>P. granulatum</i> Bainier	3	33
<i>P. purpurescens</i> (Sopp Raper et Thom)	10	10
<i>P. daleae</i> Zaleski	6	0
<i>P. brevicompactum</i> Dierckx	5	0
<i>P. corylophilum</i> Dierckx	5	0
<i>P. melinii</i> Thom	5	0
<i>P. diversum</i> Raper et Fennell	3	0
<i>P. frequentans</i> Westling	2	0
<i>P. jenseni</i> Zaleski	2	0

Considering the bulk of soil, the seasonal variation of antibiotics was as follows: there was a high increase from winter to spring, a decrease from spring to summer and a very slight decrease from summer to fall. The autumn activity in the A_{00} horizon was lower than the corresponding value of the bulk of soil.

During the whole year the percent of strains which synthesized antibiotics diminished with depth. The same could be stated for spring and summer. However, the variation in autumn was inverted and the value found in winter for the A_{00} horizon was lower than that of the A_{11} horizon. We believe that the low antibiotic capacity in the A_{00}

horizon during both autumn and winter could be due to the fact that the recently fallen leaves were not strongly colonized by soil microorganisms until the next spring.

On the other hand, the reasons that could explain the higher percents of active strains among washing isolates compared with dilution isolates were not clear. It could be suggested that washing isolates came from microhabitats with a higher microbial activity, such as animal and plant residues, soil aggregates, etc.

The present results indicate that the antibiotic capacity of the genus *Penicillium* was greater in those situations which presented a higher soil microbial activity, i. e., with the decrease of depth, with the exception of the A₀₀ horizon during autumn and winter, at the surface of leaves, and during the spring.

All these findings suggest the importance of antibiotics on the microbial competition in soil.

The spectrum of antibiotic activity was represented in all strains of moulds studied as follows: 25 % of the isolates were active against *Proteus morganii*, 36 % were active against *Staphylococcus aureus* (penicillinase-producing organism), 51 % were active against *Bacillus subtilis* and 3 % only were active against *Candida albicans*. Similar patterns were common in almost all instances, with the exception of the A₁₂ horizon during the summer, the leaf surface during the winter, and the three horizons in autumn. In the latter instances, the percentage of active strains against *S. aureus* (penicillinase-producing organism) were higher than those against *B. subtilis*, leading to suggest that the antibiotics produced at this season could be different than those produced during the rest of the year.

R É S U M É

La capacité de synthèse d'antibiotiques par les moisissures a été examinée sur 193 souches appartenant à 30 espèces du genre *Penicillium*, isolées à des horizons différents durant les quatre saisons de l'année, au moyen de test sur boîtes de Pétri, face à des microorganismes étalons.

Le pourcentage de souches capables de telle synthèse augmentait dans les circonstances où l'activité microbienne s'intensifiait, par exemple, avec la diminution de la profondeur (en exceptuant l'horizon de surface pendant l'automne et l'hiver), à la surface des feuilles et au printemps de la forme suivante: 25 % présentaient une activité antibiotique contre *Proteus morganii*, 36 % contre *Staphylococcus aureus* (producteur de pénicilline), 51 % contre *Bacillus subtilis* et 3 % contre *Candida albicans*. En automne par contre, le spectre d'activité antibiotique variait comme suit: 28 % contre *P. morganii*, 48 % contre *S. aureus*, 44 % contre *B. subtilis* et 2 % contre *C. albicans*. Les faits observés pourraient être dus au rôle joué par les antibiotiques dans les interactions des microorganismes des sols.

S U M M A R Y

The capacity of production of antibiotics by moulds has been examined in 193 strains belonging to thirty species of the genus *Penicillium*, isolated from an andosol at different levels and seasons of the year, by testing them on Petri plates against pattern microorganisms.

The percentage of strains capable of antibiotic syntheses increased in those instances in which microbial activity was higher, i. e., with the decrease of depth (with the exception of the superficial horizon during autumn and winter), at the surface of leaves and during spring as follows: 25 % were active against *Proteus morganii*, 36 %

against *Staphylococcus aureus* (penicillinase-producing organism), 52 % against *Bacillus subtilis* and 3 % against *Candida albicans*. During autumn, however, the spectrum of activity was as follows: 28 % against *P. morgani*, 48 % against *S. aureus*, 44 % against *B. subtilis* and 2 % against *C. albicans*. These facts may be due to the role played by antibiotics on the interactions of microorganisms in soil.

Instituto «Jaime Ferrán» de Microbiología del C. S. I. C.
Joaquín Costa, 32, Madrid-6, Spain.

BIBLIOGRAPHY

- AGHA, N. H. (1972). Antibiotic properties of fungi isolated from soil samples in Baghdad vicinity. *Biologica*, 27, 225-228.
- BILAI, V. I. (1963). Antibiotic-producing microscopic fungi. Elsevier Publ. Co., Amsterdam.
- BISSET, J. and P. WIDDEN. (1972). An automatic multichamber soil-washing apparatus for removing fungal spores from soil. *Can. J. Microbiol.*, 18, 1399-1404.
- BREWER, D., F. CALDER, T. M. MC INTYRE, and A. TAYLOR. (1971). Ovine ill-thrift in Nova Scotia. I. The possible regulation of the rumen flora in sheep by fungal flora of permanent pasture. *J. Agric. Sci.*, 76, 465-477.
- BREWER, D., A. TAYLOR and M. M. HOEHN. (1972). Ovine ill-thrift in Nova Scotia. II. The production of land soil. *J. Agric. Sci.*, 78, 257-264.
- BREWER, D., A. TAYLOR, and M. M. HOEHN. (1974). The antibiotic activity of cultures from fungal spores collected by a spore trap on permanent pasture. *Can. J. Microbiol.*, 20, 721-729.
- BRIAN, P. W. (1960). Antagonistic and competitive mechanisms limiting survival and activity of fungi in soil. In *Ecology of soil fungi*. Edited by D. Parkinson and J. S. Waid. University Press, Liverpool., 115-129.
- EICKER, A. (1975). A survey of the antimycotic and antibacterial activity of soil fungus from Transvaal. *J. S. Afr. Bot.*, 41, 187-198.
- GAUSE, G. F. (1960). The search for new antibiotics. Yale Univ. Press, New Haven.
- HILL, P. (1972). The production of penicillins in soil and seeds by *Penicillium chrysogenum* and the role of penicillin β -lactamase in ecology of soil *Bacillus*. *J. Gen. Microbiol.*, 70, 243-252.
- ÍNIGUEZ, J. and E. BARRAGAN. (1974). Andosuelos desarrollados sobre filitas en Ulzama (Navarra). *An. Edaf. Agrob.*, 33, 1055-1069.
- JEFFERYS, E. G., P. W. BRIAN, H. G. HEMMING, and D. LOWE. (1953). Antibiotic production by the microfungi of acid heath soils. *J. Gen. Microbiol.*, 9, 314-341.
- KOCHETKOVA, G. V. (1957). Distribution of antagonistic forms and fungi of the genus *Penicillium* in soils of the european part of the USSR. (in Russian). *Byull. MOIP. Otd. biol.*, 62, 3.
- LAST, F. T. (1955). Seasonal incidence of *Sporobolomyces* on cereal leaves. *Trans. Br. Mycol. Soc.*, 38, 221-239.
- LISO, M. and ASCASO. (1969). Introducción al estudio de la evapotranspiración y clarificación climática de la cuenca del Ebro. *An. Est. Exp. Aula Dei*, 10, 5-505.
- MARCHISIO, V. F., and S. GIBELLINO. (1972). Su alcuni micromiceti ad attività antibiotica di un terreno agrario. *Allionia*, 18, 97-102.
- MARTÍNEZ, A. T. and C. RAMÍREZ. (1978). Microfungal biomass an number of propagules in an andosol during the year and in the whole profile. *Soil Biology and Biochem.*, 10, 529-531.
- MIRCHINK, T. G., and K. P. GRESHNYKH. (1961). Toxin formation in soil by some fungal species of the *Penicillium* genus (in Russian). *Mikrobiologiya*, 30, 1045-1049.
- MONSERRAT, P. (1958). Los hayedos navarros. *Collect. Bot.*, 7, 845-893.
- ORDIN, A. P. (1952). Antagonism of soil fungi of the genus *Penicillium* to phytopathogenic bacteria (in Russian). *Mikrobiologiya*, 21 (cited by Bilai, V. I.).
- RAPER, K. B., and C. THOM. (1949). A manual of the Penicillia. Hafner Pub. Co., N. Y.
- TUMARKIN, R. I. (1958). Contributions to the occurrence of actinomyces and fungi (of the *Penicillium* and *Aspergillus* genera) antagonists of pathogenic bacteria in the soils of Sakhalin and of the Sea Coast (Primorie) (in Russian). *Mikrobiologiya*, 27, 619-625.

Recibido para publicación: 10-XI-77

FERTILIDAD DE SUELOS

EFFECT OF IRON-NICKEL INTERACTIONS ON THE AVAILABILITY OF COPPER AND MANGANESE

by

S. G. MISRA and R. S. DWIVEDI

RESUMEN

EFFECTO DE LAS INTERACCIONES HIERRO-NIQUEL SOBRE LA ASIMILABILIDAD DEL COBRE Y EL MANGANESO

El efecto de los tratamientos de Fe-Ni sobre la asimilabilidad del Mn y Cu ha sido investigado en presencia y ausencia de glucosa bajo ciclos alternados de humedad-sequedad. La asimilabilidad del Mn se incrementa por la adición de Fe junto con Ni en relación con los tratamientos con Ni solo, mientras que la cantidad de Cu asimilable se incrementa igualmente con tratamientos sencillos o combinados. Sin embargo, los tratamientos conjuntos de Fe y Ni resultan ser más eficaces que los respectivos tratamientos sencillos. La adición de glucosa sirve para aumentar la cantidad de Cu y Mn asimilables en suelos sometidos a las interacciones Fe-Ni.

Fe-Ni interaction leading to decreased availability of either of the elements has been the subject of many studies (Crooke et al., 1954; Crooke and Knight, 1955; and Mizuno, 1968) but the effect of interaction on the availability of other nutrients particularly Cu and Mn is little known. Boken (1956) has shown ferrous sulphate dressing as effective as manganese dressing on several soils. Addition of Fe to the soil increased exchangeable Mn (Misra and Mishra, 1969), and increased Mn absorption by plants (Brown et al., 1961). Contrary to it, Misra and Pande (1974) observed a decrease in available Mn and Cu in soil due to addition of Fe and decrease in Mn uptake by plants due to addition of toxic levels of Fe has been noted by Mehta and Patel (1969).

The addition of Ni led to a deficiency of P (Roth et al., 1971) and increased total N content of plants (Efimov et al., 1967).

The present incubation studies deal with the effect of Fe-Ni interactions on the availability of native Cu and Mn in a red soil under alternate wetting and drying cycle. Glucose was also added to see the effect of organic matter, if any, on the availability of Cu and Mn in soil.

MATERIALS AND METHODS

Bulk soil sample upto plough-layer depth was collected from an area of red soil. The sample was analysed for total CaCO_3 , organic carbon and available nutrients (vide table I).

TABLE I

Characteristic	Composition
Soil type	Red soil
pH.....	6.5
CaCO_3 %	0.27
Organic C %	0.494
Ex. Ni (ppm).....	0.161
Available * Fe (ppm)	13.6
Available * Cu (ppm).....	0.25
Available * Mn (ppm).....	26.9
Available * P (ppm).....	8.4
Sand %.....	43.8
Silt %.....	28.2
Clay %.....	27.8

* Extractable by various extractants.

100 g of soil was weighed out and placed in 500 ml Corning beakers and wetted with deionized water. The experiment was laid down in three series in triplicate. In one series soil was treated with a factorial combination of 4 levels i. e. 0, 10, 25 and 50 ppm of each of Fe and Ni as $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ and $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ in solution form with no glucose. In the second and third series all the above treatments along with 1 % and 2 % glucose were repeated. The soil in the beakers was incubated at 40° C and the soil was wetted with deionized water when dried. Soil samples were taken after 60 days and analysed for available Cu and Mn following Cheng and Bray (1953) and Jackson's periodate method (1962) respectively. Data obtained were further analysed statistically. Results are reported in tables II and III.

RESULTS AND DISCUSSION

It is evident from table 2 that Ni in combination with Fe made Mn more available as compared to Ni treatments alone. The release of a comparatively large amount of Mn by a small amount of Fe and Ni

can be possible through oxidation-reduction process operating along with base exchange in soil. Mn can easily be reduced by Fe^{2+} and Ni^{2+} added from outside to the soil, Fe^{2+} and Ni^{2+} getting themselves oxidized. The amount of available Mn increased with advancement of incubation period. Addition of glucose further increased available Mn.

The effect of combined treatments was more pronounced as compared to respective single treatments in respect of available Cu. Fe and

TABLE II

Effect of Fe-N interaction on the availability of Mn

	Fe ₀	Fe ₁₀	Fe ₂₅	Fe ₅₀	Mean
Available Mn (ppm) Without glucose					
Ni ₀	28.50	42.72	45.45	68.90	46.89
Ni ₁₀	43.00	45.45	48.18	59.10	48.93
Ni ₂₅	50.00	64.54	45.10	56.00	53.91
Ni ₅₀	52.80	48.48	66.00	73.63	60.22
Mean.....	43.57	50.29	51.18	64.41	
		Fe	Ni	Fe × Ni	
	S. E.	4.144	4.144	4.785	
	(C.D.) 5%	8.205	8.205	9.474	
Available Mn With 1% glucose					
Ni ₀	51.00	54.54	57.27	70.00	53.20
Ni ₁₀	48.00	48.18	60.10	64.54	55.20
Ni ₂₅	54.54	68.18	61.81	69.72	63.56
Ni ₅₀	60.00	49.10	84.54	83.63	69.32
Mean.....	53.38	55.00	65.93	71.97	
		Fe	Ni	Fe × Ni	
	S. E.	4.520	4.520	5.211	
	(C.D.) 5%	8.845	8.945	10.312	
Available Mn With 2% glucose					
Ni ₀	84.20	85.00	89.80	90.00	87.25
Ni ₁₀	57.00	60.90	64.54	68.18	62.65
Ni ₂₅	60.10	70.00	65.30	76.36	67.94
Ni ₅₀	85.45	50.00	86.36	97.27	89.77
Mean.....	71.08	66.47	76.50	82.95	
		Fe	Ni	Fe × Ni	
	S. E.	4.61	4.61	5.310	
	(C.D.) 5%	9.11	9.11	10.508	

TABLE III

Effect of Fe-N interaction on the availability of Cu

	Fe ₀	Fe ₁₀	Fe ₂₅	Fe ₅₀	Mean
Available Cu (ppm) With no glucose					
Ni ₀	0.40	0.55	0.60	0.65	0.55
Ni ₁₀	0.60	0.60	0.70	0.78	0.67
Ni ₂₅	0.65	0.72	0.75	0.78	0.72
Ni ₅₀	0.75	0.75	0.75	0.90	0.78
Mean.....	0.60	0.65	0.70	0.77	
		Fe	Ni	Fe × Ni	
	S. E.	0.042	0.042	0.049	
	(C.D.) 5 %	0.083	0.083	—	
Available Cu (ppm) With 1 % glucose					
Ni ₀	0.45	0.60	0.70	0.72	0.62
Ni ₁₀	0.65	0.65	0.72	0.85	0.72
Ni ₂₅	0.75	0.75	0.80	0.85	0.79
Ni ₅₀	0.80	0.78	0.80	0.95	0.83
Mean.....	0.66	0.69	0.75	0.84	
		Fe	Ni	Fe × Ni	
	S. E.	0.045	0.045	0.052	
	(C.D.) 5 %	0.089	0.089	—	
Available Cu (ppm) With 2 % glucose					
Ni ₀	0.50	0.65	0.70	0.75	0.65
Ni ₁₀	0.70	0.70	0.78	0.90	0.77
Ni ₁₅	0.80	0.78	0.80	0.85	0.81
Ni ₅₀	0.85	0.82	0.85	0.98	0.87
Mean.....	0.71	0.74	0.78	0.87	
		Fe	Ni	Fe × Ni	
	S. E.	0.039	0.039	0.046	
	(C.D.) 5 %	0.077	0.077		

Ni can release Cu from the soil possibly through exchange process. The results also show an increase in the availability of Cu with the passage of time. Availability of Cu further increased with added glucose. Glucose can improve the availability of Cu through solubilizing effect of a number of organic acids produced during its decomposition and the complexing ability of these acids for Cu and Mn. The

addition of glucose and its decomposition in soil may well simulate the effect of decomposing organic material in the soil under natural conditions.

SUMMARY

The effect of Fe-Ni treatments on the availability of Mn and Cu has been investigated in presence and absence of glucose under alternate wetting-drying cycle. The availability of Mn increased due to addition of Fe along with Ni as compared to respective single Fe or Ni treatments whereas the amount of available Cu increased alike under single or combined treatments. However, combined Fe and Ni treatments proved to be superior over their respective single treatments. Glucose addition has been found to further increase the amount of available Cu and Mn in soil under Fe-Ni interactions.

*Agricultural Chemistry Section, Department of Chemistry
University of Allahabad, Allahabad (India)*

REFERENCES

- BOKEN, E. (1956). Effect of ferrous sulphate on the available manganese in soil and the uptake of manganese by plants. *Plant and Soil*, 7, 237-252.
- CHENG, K. L. and BRAY, R. H. (1953). Two specific methods of determining copper in soil and plant material. *Anal. Chem.*, 25, 655-669.
- CROOKE, W. M., HUNTER, J. G. and VERGNANO, O. (1954). The relationship between Ni toxicity and iron supply. *Ann. Appl. Biol.*, 41, 311-324.
- CROOKE, W. M. and KNIGHT, A. H. (1955). The relationship between Ni toxicity symptoms and the absorption of Fe and Ni. *Ann. Appl. Biol.*, 43, 454-464.
- EFIMOV, M. V., KASHIN, V. K., BELARUSSOVA, M. B., SHUBINA, R. M. and KHARLOVA, M. G. (1967). Effect of iodine and nickel on the removal of nitrogen from the soil by Corn and Oats by presowing treatments of seeds. *Mikroelem. S. b. N.º 5*, 74-78.
- JACKSON, M. L. (1962). *Soil Chemical Analysis*. Prentice Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey.
- MEHTA, B. V. and PATEL, N. K. (1969). Effect of different iron-potassium, phosphate, and calcium-manganese relationships of aromatic strain of bidi tobacco (*Nicotiana tabacum* L.). *Plant and Soil*, 30 (1), 305-316.
- MISRA, S. G. and MISHRA, P. C. (1969). Effect of cations on the adsorption and release of Mn^{2+} by soil. I. Effect of NH_4^+ , K^+ , Ca^{2+} and Fe^{2+} . *Proc. Nat. Inst. Sci. India*, 35-A (3), 406-413.
- MISRA, S. G. and PANDE, P. (1974). Availability of soil Mn, Cu and Ni as affected by Fe additions. *Vijnana Parishad Anusandhan Patrika*, 17 (4), 281-285.
- MIZUNO, N. (1968). Interaction between iron and Ni and copper and nickel in various plant species. *Nature*, 219 (5160), 1271-1272.
- ROTH, J. A., WALLIHAN, E. F. and SHARPLESS, R. G. (1971). Uptake by oats and soybeans of Cu and Ni added to a peat soil. *Soil Sci.* 112 (5), 338-342.
- BROWN, J. C., TIFFIN, L. O., SPECHT, A. W. and RESNICKY, J. W. (1961). Stability and concentration of metal chelates factors in iron chlorosis of plants. *Agron. J.*, 53, 85-90.

Recibido para publicación: 20-I-77

EFECTO DEL USO DEL SUELO SOBRE ALGUNOS INDICADORES DE FERTILIDAD EN DOS SUBORDENES (ANDEPT Y TROPET) DEL ALTIPLANO DE PASTO, COLOMBIA (*)

I. MATERIA ORGANICA Y BASES CAMBIABLES

por

RICARDO GUERRERO (**), ALVARO DAVILA (***) y CARLOS TORRES (***)

SUMMARY

EFFECT OF MANAGEMENT SYSTEMS OF THE SOIL ON SOME FERTILITY INDEXES IN TWO SUBORDERS (ANDEPT AND TROPEPT) FROM THE HIGHLANDS OF PASTO-NARIÑO-COLOMBIA

I. Organic matter an exchangeable bases

Fifty four samples of soils were evaluated statistically to determine the effect of management system on the fertility components: organic matter and exchangeable bases. These soils from the high lands of Pasto (Nariño, Colombia, S. A.) belong to the sub-orders Andept and Tropept.

The samples were collected from soils which had been under intensive cropping management and under meadow (Not disturbed for many years).

The organic mater content of the soils under intensive cropping was significantly ($P < 0,01$) less than those under sod. The decrease in organic matter due to cropping was higher (70 ton/ha) in the Andept soils than in the Tropept soils (30 ton/ha). However, the organic matter content of the Andept Soils was always higher than the Tropept soils (the difference was statistically significant ($P < 0,01$), under both management systems.

The exchangeable K and Ca of the cropped soils were significantly higher than in the soils under meadow. Tillage also increased the saturation of Ca, as an average, from 15 to 27 % in the Andept soils and from 32 to 43 % in the Tropept soils. These effects are due, probably, to liming and to the high rates of K fertiliser applied to the cropped soils, eventhough the K availability of the soils is high.

The previous considerations indicate that tillage in the Tropept soils is producing unbalance of the Ca/Mg and Mg/K ratios. Under these circumstances there may be a development of Mg deficiency in the crop.

(*) Investigación desarrollada dentro del Programa de Suelos, Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas, Pasto, Colombia.

(**) Profesor Asociado Facultad de Ciencias Agrícolas. Actualmente, Profesor Asociado Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

(***) Ingenieros Agrónomos, actualmente al servicio del Instituto Colombiano Agropecuario e Instituto Colombiano de la Reforma Agraria, respectivamente.

INTRODUCCIÓN

En un trabajo previo (14) se estudió el efecto de la deforestación sobre el contenido de materia orgánica, N, P y K en suelos volcánicos del área andina de Nariño, Colombia. En general, la deforestación causó pérdidas de más de la tercera parte de materia orgánica y hasta 50 por 100 de P-orgánico en suelos cultivados. La cobertura de pradera redujo apreciablemente estas pérdidas, pero en cambio acentuó las de potasio (hasta el 50 por 100), no sólo en su fracción cambiante, sino también en la fracción reserva de ese elemento.

Los suelos del Altiplano de Pasto, ubicados también en la zona andina de Colombia, han soportado un intenso uso agropecuario desde épocas precolombinas. Son suelos de acentuada influencia volcánica, pero la diversidad de material parental y condiciones de clima ha provocado una diferenciación clara en los suelos, cuya expresión ha resultado en la ocurrencia de dos subórdenes bien definidos: Andept y Tropept.

Los dos subórdenes presentan, como es obvio, diferencias fundamentales en su constitución mineralógica, particularmente en lo que respecta a contenido de arcilla amorfa (alofana), lo cual repercute claramente sobre las propiedades fisicoquímicas y de fertilidad (15). Esto supone, asimismo, un comportamiento diferencial en cuanto a su respuesta al uso de la tierra.

La presente investigación pretende evaluar estadísticamente el efecto del uso del suelo, particularmente la acción del cultivo y la cobertura de pradera, sobre los indicadores usuales de fertilidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Generalidades de la región

El trabajo se llevó a cabo en dos subórdenes de suelos del Altiplano de Pasto, región ubicada en el Departamento de Nariño, Suroeste de Colombia, a una altitud comprendida entre 2.500 y 3.000 m. Está conformado por depósitos volcánicos del Cuaternario constituidos por tobas andesíticas cuaternarias y modernas, andesitas y aluviones cuaternarios. Los depósitos volcánicos más recientes los forman capas de ceniza provenientes de los volcanes Galeras, Morazurco, Patascoy y Bordoncillo, de espesor variable. También se encuentra otro tipo de depósito volcánico, mezcla de ceniza y material cascajoso u otro tipo de material de origen coluvial andesítico (9, 21, 27).

La temperatura media anual está comprendida entre 10° y 14° C y la precipitación promedio es de 780 mm./año, la cual aumenta en las localidades ubicadas en el montano bajo, húmedo, que junto con el bosque seco montano bajo constituyen las formaciones vegetales predominantes en el Altiplano (9, 10).

Suborden Andept

El estudio básico sobre la mineralogía, génesis y clasificación de los

suelos del Altiplano de Pasto, ha sido realizado por Luna y Colhoun (21).

Los suelos pertenecientes al suborden Andept se han desarrollado sobre cenizas volcánicas. Son profundos, de tipo A-C o A(B)C. El horizonte «A» pasa de 50 cm. de espesor y es de colores oscuros. Su textura es franco-arenosa, franco-limosa o, excepcionalmente, franco-arcillosa. La estructura predominante es de tipo subangular media, mientras que la granular o de migajón es poco frecuente. Su porosidad total es alta y su densidad aparente es menor de 0,85 g./ml. Su consistencia es friable o muy friable.

Desde el punto de vista mineralógico, en las arenas predominan las plagioclasas en la fracción liviana y la hornblenda en la fracción densa. El cuarzo es muy escaso, lo cual conjuntamente con otras características mineralógicas indica que la composición de la ceniza es andesítica. En la fracción arcillosa de los horizontes superiores predominan las arcillas amorfas y la haloisita hidratada.

En lo referente a sus propiedades químicas, la CIC es muy alta, pero la mayor parte de ella es dependiente del pH; la saturación de bases es baja y el hidrógeno cambiante muy alto. El pH en agua (1:2) del horizonte «A» oscila entre 4, 8 y 5,4 y el obtenido en NaF 1 M es mayor de 9,5. Son muy pobres en P-aprovechable (Bray II).

La clasificación según la séptima aproximación es:

Orden: Inceptisoles. Suborden: Andept. Grandes grupos: Dystrandept y Vitrandept.

Suborden Tropept

Están desarrollados sobre ceniza volcánica en combinación con otros materiales, tales como tobas, coluvios andesíticos y ceniza volcánica, que ha sido trabajada previamente o transportada por acción del agua.

Morfológicamente son del tipo A-C o A(B)-C y presentan características variadas, dependiendo de la proporción y clase del material con que se encuentra asociada la ceniza. Comparados con los del suborden Andept, los de este grupo tienen colores más claros, poseen estructura más desarrollada y son de consistencia firme, algo plásticos y poco porosos. Su densidad aparente es igual o ligeramente superior a 1,0 g./ml. El contenido de arcilla es mucho más alto que el que muestran los suelos derivados exclusivamente de ceniza volcánica.

Dentro de los minerales livianos, componentes de las arenas, predominan los feldespatos plagioclásicos y dentro de los pesados la hornblenda. El cuarzo es muy escaso, lo que quiere decir que los materiales originales son andesíticos. Dentro de la fracción arcilla predomina la haloisita y la metahaloisita.

Desde el punto de vista químico, son ligeramente ácidos o neutros, con alta saturación de bases y bajo contenido de C-orgánico. El pH (NaF 1 M) arroja valores inferiores a 9,5. La CIC es alta pero inferior a la que muestran los suelos Andept. El P-aprovechable (Bray II) es de bajo a mediano.

En el sistema séptima aproximación se clasifican así:

Orden: Inceptisoles. Suborden: Tropept.

Metodología

Para el estudio se utilizó el sistema de muestreo estratificado. La muestra correspondiente al suborden Andept incluyó 22 suelos y la del suborden Tropept 32 suelos. El número de suelos dentro de cada suborden refleja la ocurrencia relativa de las dos clases de suelos en el Altiplano.

Dentro de cada suborden se incluyeron dos tipos de uso del suelo: pradera y cultivo. Los suelos bajo pradera correspondían primordialmente a pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) con alguna mezcla de tréboles y los suelos bajo cultivo estaban ocupados en orden de importancia por papa (*Solanum tuberosum* L.), cebada (*Hordeum vulgare* L.), trigo (*Triticum vulgare* L.), maíz (*Zea mays* L.) y haba (*Vicia faba* L.).

La distribución de los dos sistemas de uso en cada muestra se hizo reflejando la importancia relativa de cada cobertura dentro del suborden respectivo, en la siguiente forma:

Suborden Andept: Pradera, 6 suelos; cultivo, 16 suelos. Suborden Tropept: Pradera, 13 suelos; cultivo, 19 suelos.

Las variables químicas de fertilidad se determinaron siguiendo las descripciones metodológicas de Silva y colaboradores (28):

C-orgánico: Combustión húmeda (Walkley-Black).

Ca-cambiable: NH_4OA_0 1 N pH 7,0 (absorción atómica).

Mg-cambiable: NH_4OA_0 1 N pH 7,0 (verseno).

Saturación de Ca: En base a la CIC determinada por saturación con NH_4OA_0 1 N pH 7.

Las diferencias entre subórdenes y entre sistemas de uso se establecieron estadísticamente mediante comparaciones de promedios por prueba de «t».

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Materia orgánica

Los resultados de la comparación estadística de promedios muestran que el uso del suelo causó un efecto estadístico diferencial ($P < 0,01$) sobre la materia orgánica, tanto en el suborden Andept como en el Tropept. En los dos casos el contenido de materia orgánica es mayor en pradera que en cultivo, lo que quiere decir que el uso de suelo causó una caída en la materia orgánica, efecto éste muy conocido y reiterado bajo diferentes condiciones de suelo y clima.

La situación anterior se refleja en la figura 1, en donde se observa la caída en la materia orgánica por acción del cultivo. Esta pérdida es del orden de las 70 ton./ha. en Andept y de 30 ton./ha. en Tropept, lo que supondría una caída mucho más acentuada en los suelos ándicos:

que en los Tropept. Sin embargo, en términos relativos, la magnitud de la pérdida es similar en los dos grupos de suelos. En efecto, si expresamos la disminución de la materia orgánica bajo cultivo en relación a la cantidad en pradera, encontramos que en Andept se pierde un 42 por 100 de la cantidad presente bajo pradera y en Tropept un 30 por 100.

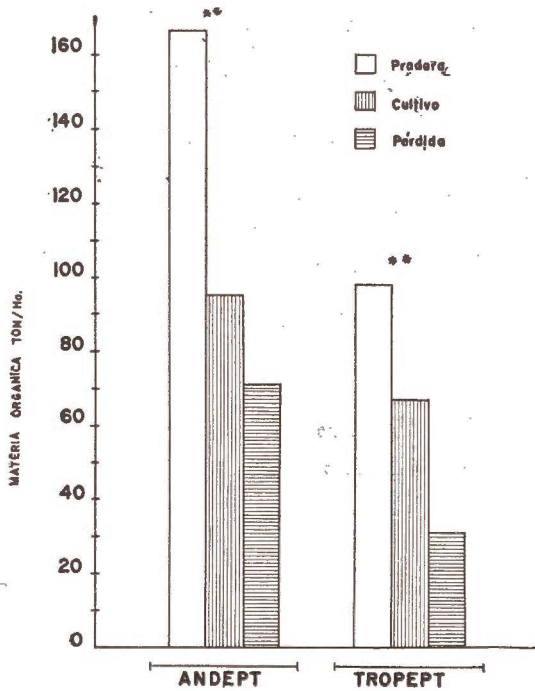


Fig. 1.—Promedio de materia orgánica en los suelos Andept y Tropept, bajo condición de cultivo y pradera y pérdida por efecto del cultivo en relación a la pradera

** Diferencia significativa con el 99 % de confiabilidad estadística

Pese a lo anterior, tanto el contenido promedio de materia orgánica como la cantidad por hectárea es estadísticamente mayor ($P < 0,01$) en los suelos Andept que en los Tropept, situación válida para las dos condiciones de uso.

Este resultado supone que los suelos Andept conservan mejor la materia orgánica que otros tipos de suelos, así sean también de origen volcánico, en razón de que al exponerse a la acción de la labranza consiguen estabilizar su degradación orgánica a un nivel de equilibrio significativamente superior en contenido a los suelos no alofánicos. La estabilidad relativamente mayor de la materia orgánica en los suelos Andept se debe, tal como ha sido demostrado por Broadbent y sus colaboradores (7), a la formación de complejos entre los minerales amorfos y la materia orgánica, efecto que se ha denominado «acción protec-

tora de la alofana» y que parece estar ligado a la acción acomplejante del aluminio, como lo demuestra Jackman (18), y/o a la formación de complejos estables sílice-ácidos fúlvicos, según la teoría muy reciente de Griffith y Schnitzer (13).

De una u otra forma, la estabilización de la materia orgánica en el suborden Andept tiene obvias repercusiones sobre la fertilidad del suelo, que se materializan en una débil mineralización de N y P (4, 5) y, por tanto, en una alta demanda de fertilización nitrogenada y fosfatada.

Bases cambiables

Es apenas elemental pensar que la clase de uso del suelo y su manejo incidan sobre la constitución de la cubierta iónica de cambio. Es, asimismo, claro que la dirección y magnitud de estos cambios van a repercutir en la disponibilidad de elementos que como el Ca, Mg y K son esenciales para la vida vegetal.

De la figura 2 se deduce que la tendencia general, tanto para los suelos Andept como para los Tropept, es hacia un aumento en la con-

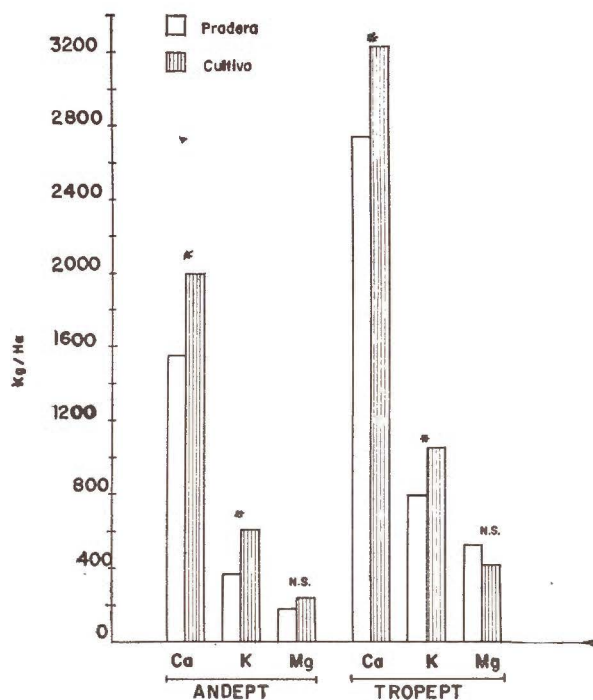


Fig. 2.—Cantidad promedio por hectárea de bases cambiantes bajo pradera y cultivo

* Diferencia significativa con el 95 % de confianza

** Diferencia significativa con el 99 % de confianza

N. S. Diferencia no significativa

centración de Ca, K y Mg cuando la cobertura del suelo pasa de pradera a cultivo. De esta tendencia se exceptúa el Mg para el caso del suborden Tropept.

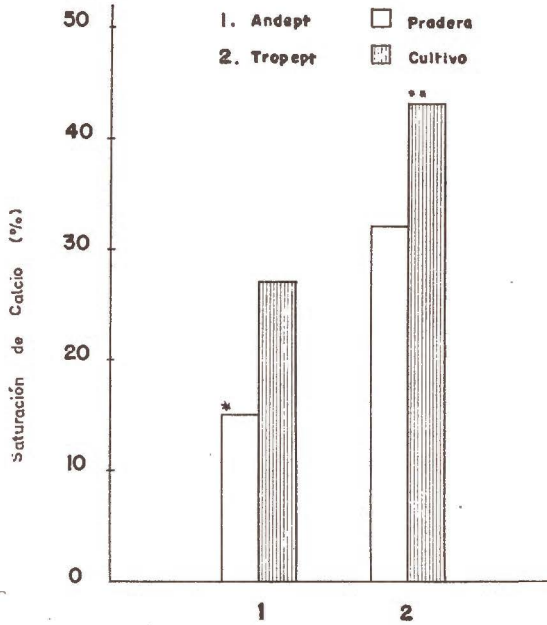


Fig 3.—Saturación promedio de calcio en el complejo de cambio bajo pradera y cultivo

* Diferencia significativa con el 95 % de confianza

** Diferencia significativa con el 99 % de confianza

Los resultados de la comparación estadística de promedios nos indican que el incremento en las bases cambiables causado por el cultivo resulta confiable para el caso del Ca y K ($P < 0,05$) y para la saturación de calcio en los dos subórdenes estudiados ($P < 0,01$). Esta saturación se muestra en las figuras 2 y 3.

El incremento en las cantidades de calcio y potasio en los suelos bajo cultivo responde sin duda a patrones claros del manejo de la fertilidad en la región.

Los suelos cultivados del Altiplano de Pasto y, en general, de la zona andina de Nariño, han sido tradicionalmente sometidos a encalamientos reiterados y cíclicos. Por el contrario, bajo condiciones de pradera el encalado no es usual (8).

Como se observa en la figura 3, la saturación de calcio en los suelos Andept se incrementó desde 15 por 100 hasta 27 por 100, por acción de cultivo, en tanto que para los suelos Tropept el incremento fue en pro-

medio desde 32 por 100 hasta 43 por 100. Al respecto, cabe indicar que en los suelos Andept el nivel de saturación de calcio en pradera se calificaría como indicador de una deficiencia de calcio, en tanto que bajo cultivo la saturación indica la suficiencia de este elemento (16). En los suelos Tropept el nivel y la saturación de calcio es mucho mayor que en Andept, bajo las dos condiciones de uso, y el valor de la saturación bajo pradera se puede considerar normal, lo que indicaría suficiente disponibilidad de este elemento. Sin embargo, el agricultor encala e incrementa la saturación sobre el 40 por 100, en promedio.

Los incrementos del calcio cambiabile por efecto del cultivo que muestra la figura 2 son, en promedio, iguales para los dos grupos de suelos, siendo aproximados a los 450 kg./ha., lo que significa que la intensidad de la práctica de encalado es muy similar en Andept y Tropept. Este incremento equivale a una aplicación promedia de 1.125 kg./ha. de CaCO_3 .

En lo concerniente al potasio, desde que comenzaron a utilizarse las llamadas fórmulas completas, hace más de veinte años, el cultivador de papa, trigo y cebada se acostumbró a fertilizar con fórmulas altas en potasio, tales como 10-30-10, 8-24-12, 15-15-15, pese a los relativamente altos niveles de potasio en los suelos de la región (3). En cambio, las praderas únicamente son fertilizadas con nitrógeno. Lo concerniente a los niveles más bajos de K-cambiabile bajo condiciones de pradera, ya se discutió en un artículo previo (14).

La acción del cultivo en el incremento del K-cambiabile se cuantifica también similarmente en ambos grupos de suelos alcanzando un valor próximo a los 250 kg./ha. (fig. 2). Esta diferencia promedia equivale a la aplicación de 500 kg./ha de KCl.

Como se verá más adelante, el incremento del K-cambiabile por efecto del cultivo se reflejará en las relaciones catiónicas, en tanto que la acción del incremento en la saturación de calcio sobre otros indicadores de fertilidad, se tratará en la parte II de este trabajo.

Relaciones catiónicas

La mayor o menor disponibilidad de Ca, Mg y K no solamente depende de la concentración de su fracción disponible en el suelo, sino también de su equilibrio en la cubierta catiónica del complejo cambiabile. Un exceso de uno o dos de esos elementos sobre otro, ocasionará una disminución en la absorción de éste, a causa de una acción antagónica en la absorción activa (11).

La figura 4 muestra la distribución de la relación Ca/Mg en los suelos estudiados. En los suelos Andept, la relación se encuentra con tendencia a ser superior a 4, pero no se observa una acción definitiva del tipo de cobertura vegetal. Por el contrario, en los suelos Tropet es evidente que casi la totalidad de los suelos bajo pradera presentan relaciones Ca/Mg inferiores a 4, mientras que en los suelos cultivados ocurre lo contrario, alcanzándose valores extremos superiores a 10.

Aunque el antagonismo Ca/Mg es muy controvertido (22), varios autores (2, 20, 29, 30) sostienen que el valor óptimo de la relación

Ca/Mg se encuentra cercano a dos y que suelos con relación demasiado amplia presentan una tendencia a deprimir la absorción de Mg por las plantas. Al respecto, Briceño y Carvajal (6) señalan que el límite crítico de esta relación puede estar alrededor de cuatro.

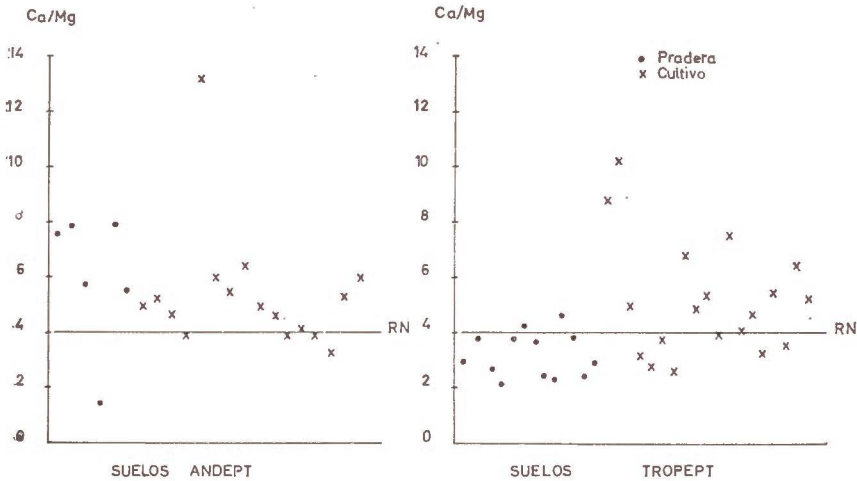


Fig. 4. — Distribución de la relación Ca/Mg en suelos del Altiplano de Pasto.
RN: Relación normal

En base a lo anterior, en los suelos Tropept cultivados se estaría generando un desequilibrio en la relación Ca/Mg en perjuicio de la disponibilidad del magnesio. Esta acción estará relacionada con las aplicaciones de cal en los suelos cultivados y explicaría, en parte, la respuesta nula o depresiva de los cultivos a la práctica del encalado (8, 12) en los suelos del Altiplano.

La distribución de la relación Mg/K se la presenta en la figura 5. Al igual que en el caso anterior, la acción diferencial del uso del suelo se aprecia claramente en el suborden Tropept. En efecto, mientras la mayor parte de los suelos bajo pradera presentan en su relación Mg/K magnitudes superiores a 1,5, los suelos bajo cultivo muestran relaciones estrechas inferiores a esa cifra.

La acción antagonista del K sobre el Mg es conocida. Varios autores (1, 17, 19, 25, 31) han demostrado que la relación Mg/K es mejor indicador de la aprovechabilidad del magnesio que el Mg-cambiable o su saturación. Las evidencias experimentales aportadas indican que en la mayoría de los cultivos una relación inferior a 1,5 determina una deficiencia de magnesio para la planta (16).

Por tanto, la acción del cultivo en los suelos Tropept, al estar asociada con la aplicación de fórmulas completas con alto grado de potasio, está generando fuertes desequilibrios en esta relación que redundan en perjuicio de la disponibilidad de Mg. Este resultado explica el efecto

negativo de la fertilización potásica sobre los cultivos, encontrado por diferentes autores en los suelos estudiados y sus similares (12, 23, 24, 26).

El equilibrio óptimo del Ca, Mg y K, expresado en la relación $(Ca+Mg)/K$ está alrededor de la magnitud 10 (6, 16). Conforme lo

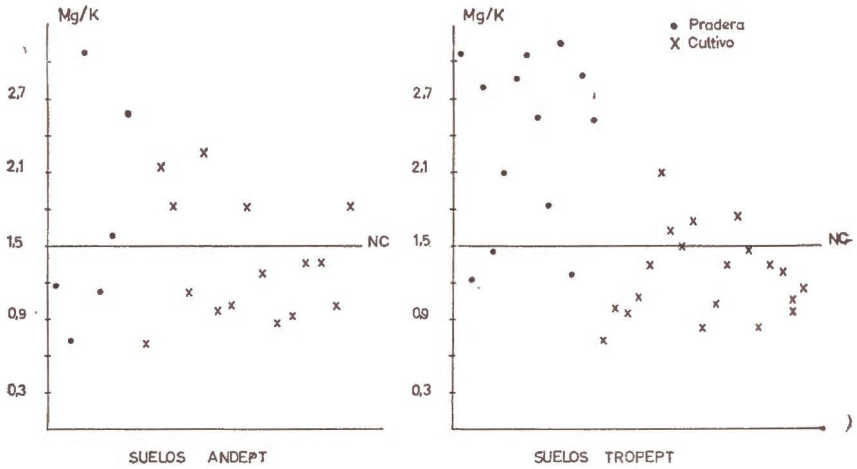


Fig. 5.—Distribución de la relación Mg/K en suelos del Altiplano de Pasto.
NC: Nivel crítico

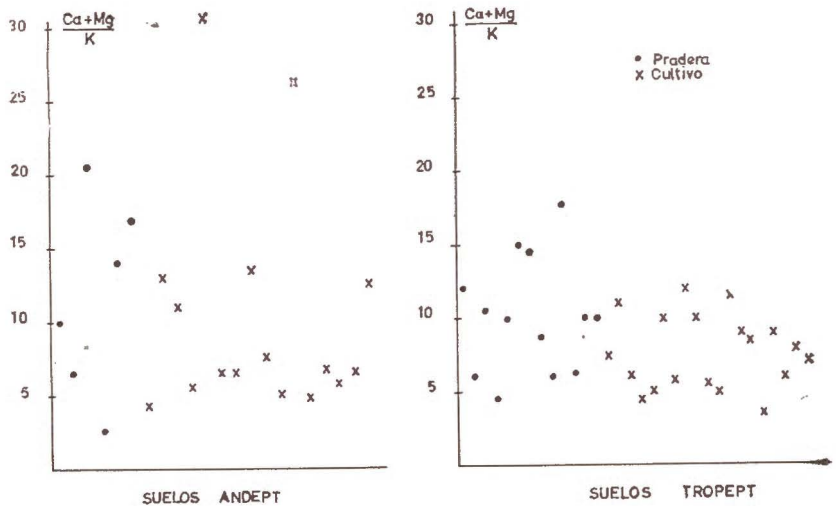


Fig. 6.—Distribución de la relación $\frac{Ca+Mg}{K}$, en suelos del Altiplano de Pasto

muestra la figura 6, en los suelos del Altiplano de Pasto el tipo de uso de suelo no muestra una acción diferencial sobre esta relación, ni en Tropept ni en Andept. Este resultado debe estar asociado al hecho de que el efecto del cultivo por acción del encalado ampliará la relación, pero por acción de la fertilización potásica tenderá a estrecharla.

RESUMEN Y CONCLUSIONES

En 54 suelos del Altiplano de Pasto, clasificados dentro de los subórdenes Andept y Tropept, se evaluó estadísticamente la acción del uso, en relación a las coberturas de pradera y cultivo, sobre los componentes de fertilidad: materia orgánica y bases cambiables.

La acción del cultivo causó una caída significativa ($P < 0,01$) en el contenido de materia orgánica, en comparación a la cobertura de pradera. Esta pérdida fue de mayor magnitud en los suelos Andept (70 ton./ha.) que en los Tropet (30 ton./ha.), pero en los primeros su contenido es significativamente mayor ($P < 0,01$).

En comparación al uso de pradera, los suelos cultivados presentaron contenidos estadísticamente mayores de Ca y K cambiables. Asimismo, por efecto del cultivo la saturación de calcio en el complejo de cambio se incrementó, en promedio, del 15 al 27 por 100 en Andept y de 32 a 43 por 100 en Tropept. Estos efectos están seguramente asociados con la práctica usual del encalado y la aplicación de fórmulas fertilizantes altas en K, pese a los niveles de alta disponibilidad de este elemento.

Como consecuencia de lo anterior, en los suelos clasificados en el suborden Tropept, las prácticas de cultivo están generando desequilibrios en las relaciones Ca/Mg y Mg/K que probablemente repercuten en un déficit de Mg para los cultivos. Se cree que estos resultados explican las respuestas nulas o negativas al encalado y a la fertilización potásica registradas en experimentos de campo.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) ADAMS, F. y HENDERSON, J. B. (1962). Magnesium availability as affected by deficient and adequate levels of potassium and lime. *Soil Science Society of America Proceedings*, 26 (1), 65-71.
- (2) BERGER, K. C. y PRATT, P. F. (1963). Advances in secondary and micronutrient fertilization. In McVickar, M. H. et al., eds. *Fertilizer Technology and usage*. Madison Wis, Soil Science Society of America, 287-329.
- (3) BLASCO, M. L. (1969). Propiedades químicas de los suelos derivados de cenizas volcánicas de Nariño, Colombia. In Panel sobre suelo derivados de cenizas volcánicas de América Latina. Turrialba, Costa Rica, p. irr.
- (4) BLASCO, L. M. (1972). Mineralización del nitrógeno en suelos tropicales y volcánicos. In Medina, H., ed. *El uso del nitrógeno en el trópico. II Coloquio de Suelos*. Bogotá, Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, 83-89.
- (5) BLASCO, L. M. (1974). El fósforo orgánico y su metabolismo en los suelos. In Medina, H. ed. *El fósforo en zonas tropicales. III Coloquio sobre Suelos*. Bogotá, Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, 19-43.
- (6) BRICEÑO, J. A. y CARVAJAL, J. F. (1973). El equilibrio entre los metales alcalinos y alcalinotérreos en el suelo, asociado con la respuesta del café. *Turrialba*, 23 (1), 56-71.

- (7) BROADBENT, F. E. M., JACKMAN, R. H. y McNICOLL, J. (1964). Mineralización of carbon and nitrogen in some New Zeland allophanic soils. *Soil Science*, 98 (2), 118-128.
- (8) BURBANO, H. et al. (1969). Algunos aspectos del encalamiento en suelos del Altiplano de Pasto, Nariño-Colombia. *Revista de Ciencias Agrícolas* (2), 51-63.
- (9) CHAVEZ, M. et al. (1959). Estudio Socioeconómico de Nariño, Bogotá. Ministerio del Trabajo. División de Seguridad Social Campesina, 218.
- (10) ESPINAL, T. L. y MONTENEGRO, E. (1963). Formaciones vegetales de Colombia; Memoria explicativa sobre el mapa ecológico. Bogotá, Instituto Geográfico «Agustín Codazzi», 210.
- (11) FRIED, M. y BROESHART, H. (1967). The soil-plant system in relation to inorganic nutrition. New York, Academic Press, 358.
- (12) GAMBOA, J. J. (1972). Variabilidad de los niveles nutricionales y fertilidad de los suelos andinos de Nariño, Colombia. In Blasco, L. M. y Guerrero, R. R., eds. II Panel sobre suelos volcánicos de América. Pasto, IICA/OEA-Universidad de Nariño, 401-419.
- (13) GRIFFITH, S. M. y SCHNITZER, M. (1975). Analytical characteristics of humic and fulvic acids extracted from tropical volcanic soils. *Soil Science Society of America Proceedings*, 39 (5), 861-867.
- (14) GUERRERO, R. R., GAMBOA, J. y BLASCO, L. M. (1975). Pérdidas de materia orgánica, nitrógeno, fósforo y potasio por efecto de la deforestación en suelos del área andina de Nariño, Colombia. *Anales de Edafología y Agrobiología*, 34 (1-2), 11-24.
- (15) GUERRERO, R. R., DÁVILA, A. y TORRES, C. (1976). Determinación rápida de coloides amorfos en dos sub-órdenes de suelos del Altiplano de Pasto y su relación con componentes químicos de fertilidad. Pasto, Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas. Investigación no publicada.
- (16) GUERRERO, R. R. (1976). Diagnóstico químico de la fertilidad del suelo. Bogotá, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía, 26. En mimeógrafo.
- (17) HOSSNER, L. R. y DOLL, E. C. (1970). Magnesium fertilization of potatoes as related to liming and potassium. *Soil Science Society of America Proceedings*, 34 (5), 772-774.
- (18) JACKMAN, R. H. (1955). Organic phosphorus in New Zeland soils under pasture. II. Relation between organic phosphorus content and some soil characteristics. *Soil Science*, 79: 293-299.
- (19) JONES, J. B. y HAGHRI, F. (1963). Magnesium deficiency of Columbian County soils Ohio Agric. Sta. Circ., 116.
- (20) LEÓN, L. A. (1968). Relaciones calcio, magnesio y potasio en suelos de la granja «La Florida», Popayán. *Agricultura Tropical* (Colombia), 24, 335-345.
- (21) LUNA, Z. C. y CALHOUN, G. F. (1973). Suelos derivados de ceniza volcánica del Departamento de Nariño, Bogotá. Instituto Geográfico «Agustín Codazzi», Subdirección Agrológica, 157.
- (22) MARTIN, J. P. y PAGE, A. L. (1965). Influence of high and low exchangeable Mg and Ca porcentajes at different degrees of base saturation on growth and chemical composition of citrus plants. *Plant and soil*, 22 (1).
- (23) MUÑOZ, R., WIECZORECK, A. y LEÓN, L. (1973). Respuesta de la cebada a diferentes dosis de fertilización en suelos influenciados por cenizas volcánicas en Nariño. *Revista ICA*, 8 (3), 261-271.
- (24) MUÑOZ, R. et al. (1974). Fertilización del trigo en suelos influenciados por cenizas volcánicas del Departamento de Nariño, Colombia. *Revista ICA*, 9 (4), 389-402.
- (25) PRICE et al. (1947). The magnesium-supplying powers of 20 New Jersey soils. *Soil Science*, 63, 69-78.
- (26) REVELO, D. C. y REVELO, D. M. (1968). Estudio de fertilidad en invernadero de algunos suelos del Altiplano de Pasto, Nariño-Colombia. Tesis de Ing. Agr Pasto, Universidad de Nariño, Facultad de Agronomía, 121.
- (27) ROYO, A. y GÓMEZ, Z. (1949). Datos para la geología económica de Nariño y Alto Putumayo. In *Compilación de estudios geológicos oficiales en Colombia*-Bogotá, Ministerio de Minas y Petróleos, 53-260.
- (28) SILVA, M. F. et al. (1963). Métodos analíticos del laboratorio de suelos-Bogotá, Instituto Geográfico «Agustín Codazzi», 138.

- (29) TISDALE, S. L. y NELSON, W. L. (1966). Soil fertility and fertilizers. Sec. ed. New York, McMillan, 694.
- (30) VOISIN, A. (1966). Leyes científicas en la aplicación de los abonos. Madrid, Technos, 150 p.
- (31) WALSH, T. y DONOHUE, T. F. (1945) Magnesium deficiency in some crop plants in relation to the level of potassium nutrition. Journal of Agricultural Science, 35, 254-263.

Recibido para publicación: 13-VII-77

EFECTO DEL USO DEL SUELO SOBRE ALGUNOS INDICADORES DE FERTILIDAD EN DOS SUBORDENES (ANDEPT Y TROPEPT) DEL ALTIPLANO DE PASTO, COLOMBIA (*)

II. DISPONIBILIDAD DE Cu, Zn, Fe Y B

p o r

RICARDO GUERRERO (**), ALVARO DAVILA (***) y CARLOS TORRES (***)

S U M M A R Y

EFFECT OF MANAGEMENT SYSTEMS OF THE SOIL ON SOME FERTILITY INDEXES IN TWO SUBORDERS (ANDEPT AND TROPEPT) FROM THE HIGHLANDS OF PASTO-NARIÑO-COLOMBIA

II. Cu Zn, Fe and B availability

Fifty four samples of soils were evaluated statistically to determine the effect of management system on the fertility components, Cu, Zn, Fe and B availability. These soils from the highlands of Pasto (Nariño, Colombia, S. A.) belong to the suborders Andept and Tropept. The samples were collected from soils which had been under intensive cropping management and under meadow (not disturbed for many years).

In the cropped Tropept soils, the average availability of Cu, Zn, Fe and B was lower than the availability of these elements under meadow. This difference was statistically significant. In the Andept soils the effect of cropping showed similar trends upon the availability of the aforementioned elements, but the effect was statistically significant only for B.

A high reduction of the availability due to cropping was observed for Cu and Zn. As for the Tropept soils investigated, 32 % showed Cu deficiency and 36 % Zn deficiency, when they were cropped. When these soils were under meadow only 10 % and 19 % showed Cu and Zn deficiency, respectively. On the other hand, the percentage of Zn deficient soils in the suborder Andept was increased from 4 % (meadow) to 32 % (cropped).

(*) Investigación desarrollada dentro del Programa de Suelos, Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas, Pasto, Colombia.

(**) Profesor Asociado. Actualmente en Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia, S. A.

(***) Ingenieros Agrónomos, actualmente al servicio del Instituto Colombiano Agropecuario e Instituto Colombiano de la Reforma Agraria, respectivamente.

INTRODUCCIÓN

En la primera parte del presente trabajo (8), se discutieron los resultados obtenidos en lo que respecta a la materia orgánica, las bases cambiables y las relaciones catiónicas. Esta segunda parte hará relación a los índices de disponibilidad de algunos micronutrientes.

Contrario a lo que ocurre con los llamados elementos mayores (N, P, K), sobre los elementos menores existe muy poca información en la literatura edáfica de Colombia y aun en la Latinoamericana (4). Por ello resulta de particular interés evaluar su disponibilidad en las diferentes clases de suelos tropicales, máxime cuando un buen número de autores (2, 5, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 16, 17, 19, 20) han establecido que, aparte de las condiciones del suelo, la acción de las prácticas de cultivo y manejo del mismo, juegan un papel determinante sobre la disponibilidad de los elementos menores para la planta.

MATERIALES Y MÉTODOS

La descripción de las características de la región y de los suelos experimentales, como también la correspondiente a la metodología estadística utilizada, ya ha sido presentada previamente en la primera parte de este estudio (8).

Determinación de la fracción disponible de los microelementos

Para la determinación de la fracción disponible de Fe, Cu y Zn, se utilizó como solución extractora el NH_4OAc 1N pH 4,8, siguiendo la técnica descrita por Saiz-Del Río y Bornemisza (18). A 2,5 g. de suelo seco al aire, pasados previamente por un tamiz de 2 mm., se agregaron 25 ml. de la solución extractora y se agitó durante sesenta minutos. Se filtró y en el extracto se determinó Cu, Zn y Fe, mediante espectrofotometría de absorción atómica, utilizando un espectrofotómetro «Varian Techtron» AA 120. El B disponible se extrajo con agua caliente y se determinó colorimétricamente, siguiendo la técnica descrita por Wear (24).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cobre

Para los suelos Andept, la concentración de Cu-disponible osciló entre trazas y 3,6 ppm. (cultivo) y entre 0,4 y 4,2 ppm. (pradera). En los suelos Tropept el rango para cultivo fue de trazas a 3,4 ppm. y para la condición de pradera fue de trazas a 3,6 ppm. Esta situación se ilustra en la figura 1.

En la misma figura se hace evidente que para los suelos Andept el

promedio bajo condiciones de pradera (1,9 ppm.) fue muy similar al de los suelos cultivados (1,7 ppm.), no existiendo diferencia significativa entre los dos promedios. Por el contrario, en los suelos pertenecientes al suborden Tropept, la concentración promedio bajo la cobertura de pradera (1,4 ppm.) fue significativamente superior ($P < 0,05$) al promedio alcanzado en los suelos cultivados (0,6 ppm.)

Cu - disponible

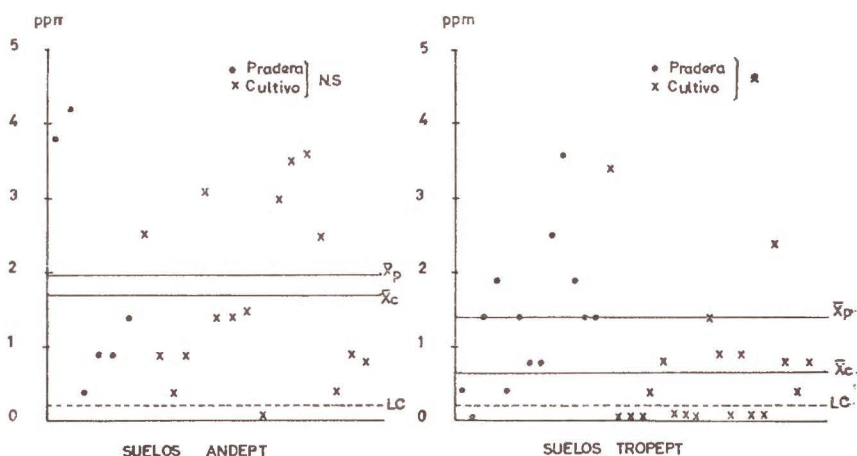


Fig. 1.—Distribución del Cu-disponible bajo pradera y cultivo en los suelos estudiados

\bar{X}_p : Promedio para pradera; \bar{X}_c : conc. promedio para cultivo.

LC: Límite crítico; NS: diferencia entre promedios no significativa; * diferencia entre promedios significativa al 95 %.

Tomando en consideración el límite crítico propuesto por Fiskell (6) y Cox y Kamprath (3), autores que lo fijan en 0,2 ppm., cuando la extracción se hace con acetato de amonio normal y ácido, se encuentra (fig. 1) que aproximadamente la mitad de los suelos Tropept cultivados presentan niveles deficientes de Cu, en tanto que cuando la cobertura es pradera, tan sólo un suelo presentaría déficit de este elemento. En el caso del suborden Andept, únicamente un suelo cultivado presenta un nivel de disponibilidad inferior al límite crítico.

De los datos anteriores, resulta evidente que la acción del cultivo está causando una disminución en la disponibilidad de Cu para la planta. Sin embargo, este efecto solamente se presenta en los suelos clasificados como Tropept. Así, tal como lo muestra la figura 5, un 32 por 100 de la población de suelos Tropept cultivados sería deficiente en este elemento (según la distribución estadística de «z»), mientras que tan sólo un 10 por 100 de la población presentaría esta condición cuando el uso del suelo está asociado con pradera. En Andept, el porcentaje poblacional de suelos deficientes en Cu es igualmente bajo para pradera y cultivo.

La mayor ocurrencia de suelos deficientes dentro del suborden Tropept podría estar asociada con un bajo nivel de Cu-total (0,7 a 1,2 ppm.), según el estudio realizado por Barros y Blasco (1).

De otra parte, la disminución en la disponibilidad causada por las labores de cultivo puede estar relacionada, como lo sostienen Lucas y Knezek (11) y Reuther y Labanauzcas (17), con el uso continuado de fertilizantes nitrogenados y fosfóricos.

Cinc

La figura 2 muestra la distribución de cinc disponible en los suelos estudiados. En las condiciones de pradera la concentración en los suelos Andept fluctuó entre 0,5 y 0,7 ppm., con un promedio de 0,6 ppm., y en los suelos cultivados de este mismo suborden entre 0,1 y 1,6 ppm., para un promedio de 0,6 ppm. Los suelos Tropept utilizados con pradera mostraron un rango de variación comprendido entre 0,1 y 2,0 ppm., con un promedio de 0,9 ppm., y la concentración en los suelos cultivados fluctuó de 0,2 ppm. a 1,0 ppm., siendo el promedio de 0,5 ppm.

Para los suelos Andept, la diferencia entre los promedios de pradera y cultivo es prácticamente nula y no significativa. Sin embargo, son cifras que pueden calificarse como bajas y muy cercanas al límite crítico.

Zn - disponible

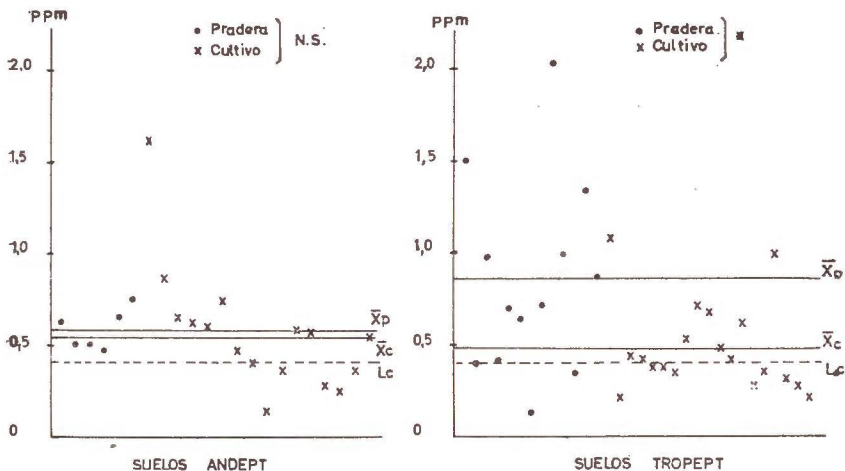


Fig. 2.—Distribución del cinc disponible bajo pradera y cultivo en los suelos estudiados

\bar{X}_p : Concentración promedio bajo pradera.

\bar{X}_c : Concentración promedio bajo cultivo.

Lc: Límite crítico.

N. S.: Diferencia entre promedios no significativa.

*: Diferencia entre promedios significativa con el 95 % de confiabilidad.

tico señalado por Viets y colaboradores (22). De acuerdo a la distribución estadística de «z», tan sólo un 4 por 100 de los suelos de la población bajo pradera estaría por debajo del límite crítico (0,4 ppm.), mostrando así deficiencia (fig. 5); mientras que bajo cultivo la proporción de la población con deficiencia de Zn alcanzaría un 32 por 100.

En los suelos clasificados como Tropept, la acción del cultivo causó un efecto negativo y estadísticamente confiable sobre la concentración promedio de Zn disponible ($P < 0,05$), en comparación al uso de pradera. De otra parte, las probabilidades de una deficiencia de este elemento son mayores cuando el uso del suelo está asociado con cultivo que cuando lo está con pradera. Así, un 36 por 100 de la población de suelos cultivados sería deficiente, en comparación al 19 por 100 que lo sería cuando la cobertura es pradera (fig. 5).

La acción negativa de las labores de cultivo sobre la disponibilidad de Zn en el suelo ha sido demostrada por varios investigadores. Las evidencias experimentales compiladas por Lucas y Knezek (11) indican que la deficiencia de este elemento en suelos cultivados puede estar asociada con las siguientes prácticas de manejo:

- a) El enclamiento de suelos ácidos.
- b) La fertilización fosfatada en dosis altas.
- c) Aplicaciones de N en dosis altas.

Efectivamente, la literatura registra información frecuente sobre la acción negativa del CaCO_3 y la fertilización fosfatada en la disponibilidad del Zn. No obstante, los mecanismos responsables del fenómeno no se conocen con exactitud. Viets y Boawn (23) sostienen que el proceso está asociado con la formación de precipitados insolubles como carbonato o fosfato de cinc. Pauli y colaboradores (15) han demostrado que el enclamiento disminuye la solubilidad del Zn en el suelo, pero que no ocurre lo mismo con las aplicaciones de P, lo cual indica que el problema de la interacción negativa Zn-P no radica en el medio edáfico, sino en el interior del sistema planta. Al respecto, Sharman et al. (21) han encontrado que las aplicaciones de P inhiben la traslocación del Zn de la raíz al follaje de la planta de arroz.

En el Altiplano de Pasto la práctica del enclamiento es muy usual en los suelos bajo cultivo, circunstancia ésta que ha resultado en un incremento acentuado de la saturación de calcio en el complejo de cambio, tal como se discutió en la primera parte del presente estudio (8). Es, en consecuencia, muy probable que esta práctica de manejo sea la responsable de la baja disponibilidad de Zn en los suelos cultivados del Altiplano. La relación negativa y significativa ($P < 0,05$) detectada entre la saturación de calcio y el nivel de Zn-disponible en los suelos Tropept, da un basamento real y concreto a la afirmación anterior (fig. 6).

Hierro

La distribución del hierro disponible en suelos cultivados y bajo pradera se observa en la figura 3. En los suelos Andept con cobertura de

pradera la concentración osciló entre 40 y 274 ppm. y en los utilizados con cultivo entre 23 y 196 ppm. Esta alta variabilidad determinó que la diferencia entre los promedios de las dos coberturas (pradera: 147 ppm.; cultivo: 81 ppm.) no fuese estadísticamente detectable. En los suelos Tropept la variabilidad en la concentración fue menor (pradera: 73 a 275 ppm.; cultivo: 8 a 93 ppm.), resultando, así, significativa ($P < 0,01$) la diferencia entre los promedios de pradera (170 ppm.) y cultivo (39 ppm.).

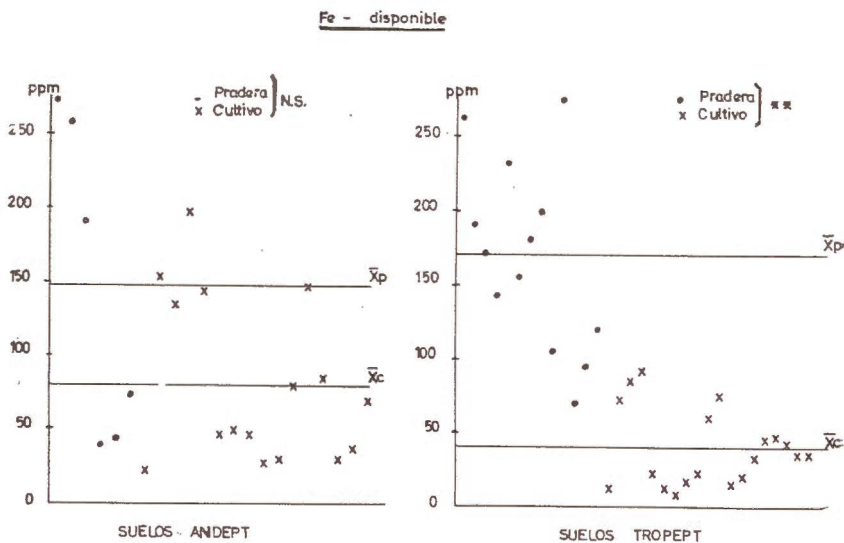


Fig. 3.—Distribución del Fe-disponible bajo pradera y cultivo en los suelos estudiados: \bar{X}_p : promedio para pradera; \bar{X}_c : promedio para cultivo; N. S.: Diferencia entre promedios no significativa; **: Diferencia entre promedios significativa con el 99 % de confianza

De los resultados anteriores se desprende en forma evidente que en los suelos clasificados como Tropept las labores de manejo asociadas con el cultivo han acusado un descenso acentuado en la disponibilidad de hierro. No obstante, aun los valores de concentración mínimos detectados (8 ppm.) no constituyen un indicativo de deficiencia. A este respecto, los datos relacionados con niveles críticos para Fe son particularmente escasos. Olson y Carlson (14) sugieren que, cuando la concentración de hierro extraíble obtenida con acetato de amonio normal y ácido es menor de 2 ppm., se puede esperar la expresión de deficiencias.

Boro

Tanto para los suelos Andept como para los Tropept, el uso del suelo causó una acción diferencial estadísticamente significativa sobre

la concentración promedio de B-disponible. Para el suborden Andept, el promedio en los suelos de pradera fue de 1,8 ppm. (rango 1,3 a 2,2 ppm.), en comparación al promedio de los suelos cultivados que fue de 1,3 ppm. (rango 0,4 a 2,0 ppm.). Para el suborden Tropept, la concentración promedio en suelos de pradera alcanzó 1,7 ppm. (rango 1,2 a 2,1 ppm.) y en suelos de cultivo fue de 1,3 ppm. (rango 0,7 a 1,6 ppm.). La distribución de B-disponible en los suelos estudiados se aprecia en la figura 4.

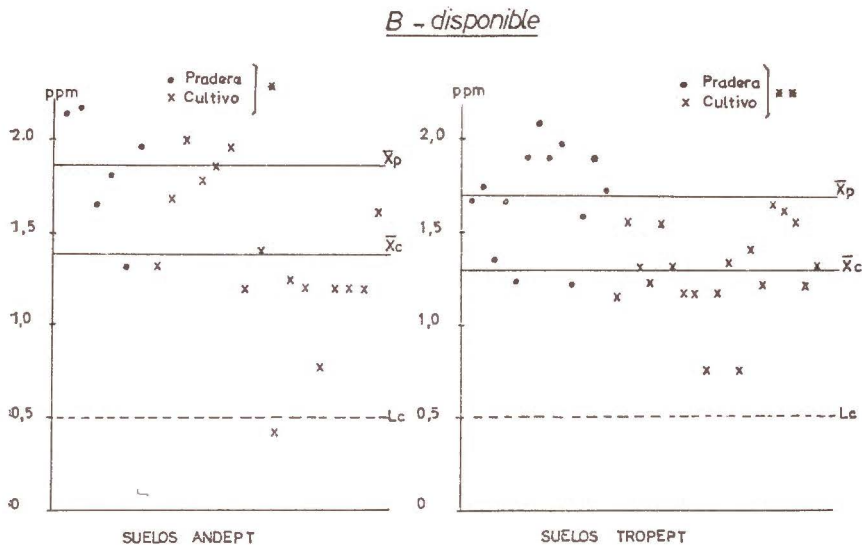


Fig. 4. - Distribución del B-disponible bajo pradera y cultivo en los suelos estudiados

- \bar{X}_p : Promedio para pradera; \bar{X}_c : Promedio para cultivo.
- * : Diferencia de promedios significativa con el 95 % de confiabilidad.
- ** : Diferencia de promedios significativa con el 99 % de confiabilidad.

Vistos los resultados anteriores, es claro que las labores de manejo del suelo, asociadas al uso de cultivo, han causado una disminución evidente y estadísticamente confiable en el nivel de disponibilidad de boro para la planta. Sin embargo, si aceptamos como límite crítico el valor de 0,5 ppm., sugerido por Reisenauer (16) para la metodología de extracción utilizada, solamente uno de los suelos estudiados (fig. 4) se podría calificar como deficiente.

Olsen (13) y Reisenauer (16) afirman que la práctica de manejo del suelo que más afecta en forma negativa la disponibilidad de B es el encalamiento, y explican que esto obedece a la ocurrencia de varios fenómenos o a la combinación de los mismos, a saber :

- a) Incremento de la fijación o retención de B por los coloides minerales y orgánicos de los suelos, mediante reacciones en medio alcalino.

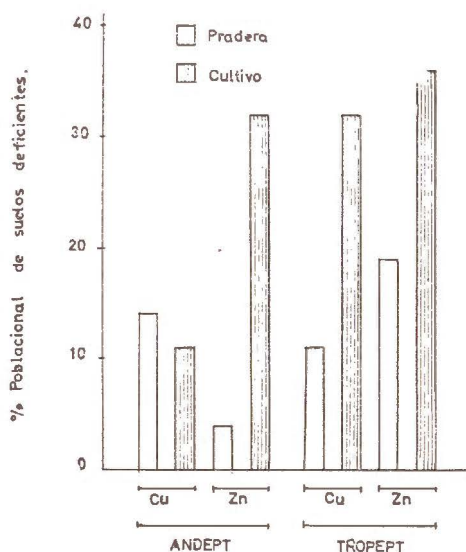


Fig. 5.—Porcentajes poblacionales de suelos Andept y Tropept deficientes en Cu y Zn. Estimación estadística en base a la distribución de «Z»

Límite crítico para Cu: 0.20 ppm.

Límite crítico para Zn: 0.40 ppm

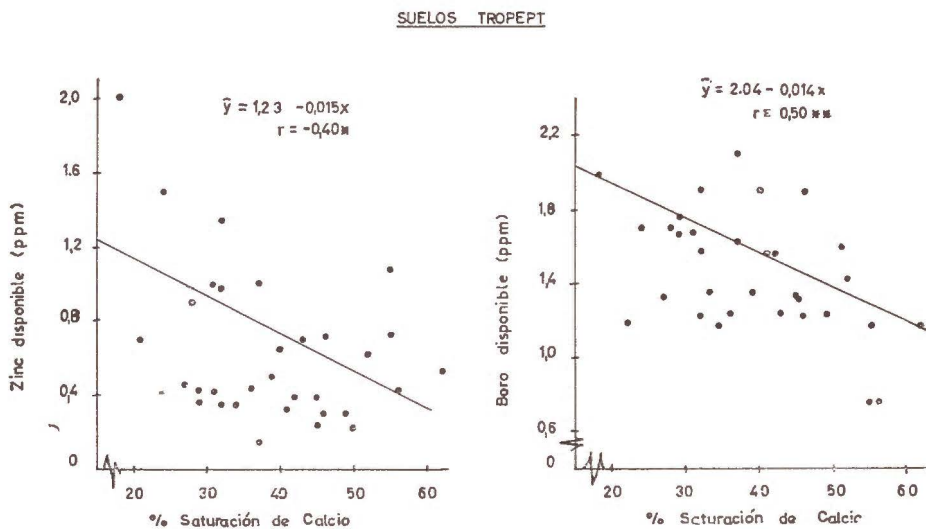


Fig. 6.—Regresión y correlación lineal entre la saturación de calcio en el complejo de cambio y la concentración de Cinc y Boro disponibles en suelos Tropept

- b) Formación de boratos insolubles.
- c) Acción fisiológica negativa, causada por el incremento en pH y en la concentración de Ca^{++} en la solución del suelo, sobre la absorción y traslocación del B.

El efecto negativo del enclamiento sobre la disponibilidad de B en los suelos cultivados del Altiplano de Pasto, parece estar corroborado, al igual que para el caso del Zn, por el hecho de que los suelos bajo cultivo muestran una mayor saturación de calcio en el complejo de intercambio que aquellos suelos utilizados con pradera (8). De otra parte, los valores de saturación de calcio relacionaron inversamente con los niveles de B disponible en los suelos Tropept; de donde resulta que, tal como lo muestra la figura 6, los valores más bajos de B-disponible están asociados significativamente ($P < 0,01$) con los más altos valores de saturación de calcio.

RESUMEN Y CONCLUSIONES

En 54 suelos del Altiplano de Pasto, clasificados dentro de los subórdenes Andept y Tropept, se evaluó estadísticamente la acción del manejo, en relación al uso de pradera y cultivo, sobre los índices de disponibilidad de Cu, Zn, Fe y B.

En los suelos Tropept cultivados la disponibilidad promedia de Cu, Zn, Fe y B fue estadísticamente inferior a la determinada bajo condiciones de pradera. En los suelos Andept la acción del cultivo mostró tendencias similares, pero el efecto únicamente fue confiable estadísticamente en el caso del B.

El efecto negativo de las labores de cultivo sobre la disponibilidad de los elementos estudiados fue particularmente acentuado y trascendente en el caso del Cu y el Zn. En el suborden Tropept, el 32 por 100 de la población de suelos cultivados sería deficiente en Cu y un 36 por 100 lo sería en Zn, en tanto que esos mismos suelos utilizados con pradera tan sólo revelan un 10 por 100 y un 19 por 100 de deficiencias de Cu y Zn, respectivamente. De la misma manera, en el caso de los suelos pertenecientes al suborden Andept, la proporción de la población con deficiencia de cinc se incrementó de un 4 por 100 en los suelos utilizados con pradera a un 32 por 100 en los suelos cultivados.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) BARROS, M. P. y BLASCO, L. M. (1971). Cobalto, cobre y molibdeno totales en los suelos volcánicos del Altiplano de Pasto, Nariño. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 3 (1), 23-29.
- (2) BRADFORD, R. G. (1966). Boron. In Chapman, D. H., ed. *Diagnostic criteria for plants and soils*. Riverside, University of California, 33-61.
- (3) COX, R. F. and KAMPRATH, J. E. (1972). Micronutrient soil tests. In Mortvedt, J. J., ed. *Micronutrients in Agriculture*. Madison, Soil Science Society of America, 289-317.
- (4) COX, R. F. (1973). Micronutrients. In Sánchez, P. A., ed. *A Review of soils*.

- research in tropical Latin America. North Carolina Agric. Exp. Sta. Tech. Bull., 219, 182-197.
- (5) CHAPMAN, D. H. (1966). Zinc. In Chapman, D. H., ed. Diagnostic criteria for plants and soils. Riverside, University of California, 484-499.
- (6) FISKELL, J. G. (1965). Cooper. In Black, C. A., ed. Methods of soil analysis. Madison, American Society of Agronomy, 1090-1101.
- (7) GRAHAM, E. R. (1972). The effects of soil management on the selective distribution and labile pool of micronutrient elements. Agronomy Abstracts, 84.
- (8) GUERRERO, R. R., DÁVILA, A. y TORRES, C. (1979). Efecto del uso del suelo sobre algunos indicadores de fertilidad en dos subórdenes (Andept y Tropept) del Altiplano de Pasto, Nariño-Colombia. I. Materia orgánica y bases cambiables. Anales de Edafología y Agrobiología.
- (9) HODGSON, J. F. (1963). Chemistry of the micronutrient elements. Advances in Agronomy, 15, 119-159.
- (10) JOHNSON, M. C. (1966). Molybdenum. In Chapman, D. H., ed. Diagnostic criteria for plants and soils. Riverside, University of California, 286-301.
- (11) LUCAS, E. R. and KNEZEK, D. E. (1972). Climatic and soil conditions promoting micronutrient deficiencies in plants. In Mortvedt, J. J., ed. Micronutrients in Agriculture. Madison, Soil Science Society of America, 265-288.
- (12) MITCHELL, R. L. (1964). Trace elements in soils. In Bear, F. E., ed. Chemistry of the soil. 2th. ed. New York, Reinold, 320-368.
- (13) OLSEN, S. R. (1972). Micronutrient interactions. In Mortvedt, J. J., ed. Micronutrients in Agriculture. Madison, Soil Science Society of America, 243-264.
- (14) OLSON, V. R. and CARLSON, C. W. (1950). Iron Chlorosis of sorghum and trees as related to extractable soil iron and manganese. Soil Science Society of America Proceedings, 14, 109-112.
- (15) PAULI, A. W., ROSCOE, E. and MOSER, H. C. (1968). Zinc uptake and translocation as influenced by phosphorus and calcium carbonate. Agronomy Journal, 60 (4), 394-396.
- (16) REISENAUER, H. M. (1967). Availability assays of the secondary and micronutrient anions. In Stelly, M., ed. Soil testing and plant analysis. I. Soil testing. Madison, Soil Science Society of America, 71-102.
- (17) REUTHER, W. and LABANAUZCAS, K. (1966). Copper. In Chapman, M., ed. Diagnostic criteria for plants and soils. Riverside, University of California, 157-179.
- (18) SAIZ DEL RÍO, J. F. y BORNEMISZA, E. S. (1961). Análisis químico de suelos; métodos de laboratorio para diagnosis de fertilidad. IICA/OEA. Turrialba, Costa Rica, 107.
- (19) SÁNCHEZ, B. y DIOS, R. (1964). Estudio químico de suelos naturales y agrícolas gallegos y de las reacciones entre su contenido en nutrientes. IV. Manganeso, hierro y aluminio. Anales de Edafología y Agrobiología, 23, 411-430.
- (20) SAUCHELLI, V. (1969). Trace elements in agriculture. New York, Reinold, 248.
- (21) SHARMA, K. C. et al. (1968). Interactions of Zn and P with soil temperatures in rice. Agronomy Journal, 60 (6), 652-655.
- (22) VIETS, G. F. et al. (1956). Zinc deficiency in corn in Central Washington. Agronomy Journal, 45, 559-565.
- (23) VIETS, G. F. and BOAWN, C. L. (1965). Zinc. In Black, C. A., ed. Methods of soil analysis. Madison, American Society of Agronomy, 1090-1101.
- (24) WEAR, J. I. (1965). Boron. In Black, C. A., ed. Methods of Soil Analysis. Madison, American Society of Agronomy, 1059-1063.

Recibido para publicación: 13-VII-77

EFEECTO DE LA FERTILIZACION DE SOJA CON DISTINTAS FORMAS DE AZUFRE

por

C. LLUCH, M. GOMEZ y J. OLIVARES

SUMMARY

EFFECT OF FERTILIZATION OF SOYBEAN WITH DIFFERENTS FORMS OF SULFUR

Since mineral nitrogen fertilization of soybean does not mean a parallel increasing in yield, being required the establishment of an important biological nitrogen fixation, the effect of the applications of differents forms of sulfur: Sulphate, elemental sulfur and sulphate-sulfur 1:1, has been studied. The results have shown that the use of a mixed fertilization must be taken into account to get the best yields. The data obtained for the different parameters are discussed.

INTRODUCCIÓN

El azufre es un elemento esencial y requerido por numerosas plantas, aunque su utilización como tal elemento nutritivo ha estado olvidado bien por el uso de fertilizantes fosforados, como superfosfato de cal que contenía un 12 por 100 de azufre (4) o fertilizantes potásicos que contenían hasta un 24 por 100 (10) o bien por las dificultades encontradas en las técnicas de valoración de este elemento en plantas y suelo (9).

La fertilización con azufre puede tener un efecto pronunciado no sólo en la cantidad, sino en la calidad de las cosechas (17). De hecho, cuando esta última es factor limitante, la importancia de incluir el azufre en la fertilización programada no puede ser marginada. La nutrición azufrada está siendo estudiada en distintas especies vegetales (16, 14) de gramíneas y oleáceas. En leguminosas, Millar (15) describió que requerían más azufre que otras especies vegetales, probablemente por el contenido alto de proteínas que presentan (3).

Un grupo de investigadores (5, 18) observaron que la fertilización con azufre lleva consigo un incremento del contenido de nitrógeno en leguminosas. Sólo alguno de ellos relacionó este hecho con la fijación de nitrógeno.

El papel que realiza el azufre en la nodulación de las leguminosas y su relación con la fijación de nitrógeno ha sido poco estudiado, habiéndose observado, sin embargo, que una determinada cantidad de azufre,

en ciertas condiciones, puede aumentar el número y peso de los nódulos de las raíces de judía (12). Teniendo en cuenta que la adición al suelo de nitrógeno con el fin de aumentar su absorción, se refleja paralelamente en un incremento de cosecha (8) y que el medio más eficaz de conseguirlo es promover la nodulación y conseguir una elevada tasa de fijación biológica de nitrógeno, se proyectó esta investigación para estudiar el comportamiento de plantas de soja, inoculadas con *Rhizobium* específico, cuando se aplican distintas dosis y formas de azufre.

MATERIAL Y MÉTODOS

Suelo y planta

El suelo utilizado fue de textura franco-limosa (siltloam) tomado de unas parcelas de secano de El Padul (Granada) y previamente tamizado con un tamaño de partícula no superior a 0,5 cm³ (tamiz luz de malla, 5 mm.; UNE 7050). Las características de este suelo son las siguientes:

Limo	65.2 %	Materia orgánica ...	1.56 mg/100 g
Arcilla.....	12.8 %	Nitrógeno	99.4 »
Arena fina	22.0 %	Fósforo	12.3 »
		Potasio	50.0 »

La planta utilizada para nuestros ensayos fue la soja (*Glycine max* L.) perteneciente a la familia de las leguminosas.

Preparación de las macetas

Como paso previo a la germinación de las semillas, éstas fueron puestas durante cuatro horas en imbibición con agua a 20° C. A continuación se procedió a su bacterización colocándolas en un recipiente que contenía una suspensión bacteriana de *Rhizobium japonicum* (100.000 células/semilla) crecido en medio de Allen-79 (2).

Una vez realizados estos tratamientos previos, se sembraron las semillas en macetas (4 semillas por maceta) que contenían 1.000 g. del suelo mencionado y homogeneizado con las dosis de fertilizante correspondiente. El diseño estadístico escogido fue el de bloques de parcelas al azar con 4 repeticiones.

Condiciones de cultivo y fertilización

Las experiencias se realizaron en invernadero en condiciones adecuadas y controladas de temperatura, humedad y fotoperíodo. Los tratamientos realizados han consistido en la aplicación de distintas dosis

de azufre y en forma de: Sulfato, azufre elemental y mixta (sulfato + azufre. 1:1). Siguiendo el siguiente esquema de tratamientos:

Tratamientos	S - 1	S - 2	S - 3	S - 4
Azufre en Kg/Ha ...	10	20	40	80
En forma de	SO ₄ ⁼	SO ₄ ⁼	SO ₄ ⁼	SO ₄ ⁼
Tratamientos	A - 1	A - 2	A - 3	A - 4
Azufre en Kg/Ha ...	10	20	40	80
En forma de	S	S	S	S
Tratamientos	M - 1	M - 2	M - 3	M - 4
Azufre en Kg/Ha ...	10	20	40	80
En forma de	SO ₄ ⁼ + S	SO ₄ ⁼ + S	SO ₄ ⁼ + S	SO ₄ ⁼ + S
Tratamiento	T (testigo)			
Azufre en Kg/Ha ...	0			

El sulfato utilizado fue el sulfato potásico, manteniendo en todos los tratamientos la cantidad de potasio constante. Se adicionó una fertilización de fósforo complementaria de 60 kg. de P₂O₅/Ha. Los testigos utilizados eran exactamente iguales a los tratamientos excepto que no contenían azufre.

Determinaciones practicadas

Se realizaron las siguientes determinaciones: durante el cultivo, recuento diario de frutos aparecidos. Al final del cultivo, se determinó el peso fresco y seco de la parte aérea, del fruto y de los nódulos; se valoró el nitrógeno de la parte aérea (6) y se contaron los nódulos formados en las raíces.

RESULTADOS

En la tabla I se expresan los resultados medios obtenidos en peso seco de la parte aérea y del fruto de soja. En la tabla II, se indican resultados medios de: el número de nódulos encontrados en las raíces y el contenido de nitrógeno de la parte aérea de dichas plantas. Para contrastar si la diferencia entre los valores medios correspondientes a los distintos tratamientos es significativa, se calculó el estadígrafo de prueba T de Student y las M. D. S. de cada tratamiento frente a los restantes.

Las figuras 1, 2 y 3 muestran la evolución de la fructificación en cada uno de los tratamientos ensayados, a partir del tercer día de inicio de la fructificación.

TABLA I

Peso seco de la parte aérea y del fruto de las plantas de soja
(Valores medios de cuatro repeticiones)

Trat.	P. aérea (gramos)	M. D. S.		Fruto (gramos)	M. D. S.	
		0.05	0.01		0.05	0.01
S - 1	6.15	2.18	4.00	0.94	0.37	0.69
S - 2	9.18	1.41	2.59	1.08	0.37	0.69
S - 3	9.51	2.25	4.13	1.14	0.33	0.61
S - 4	8.98	0.70	1.28	1.38	0.28	0.52
A - 1	8.30	1.14	2.10	1.42	1.28	2.35
A - 2	8.45	2.49	4.58	1.42	1.28	2.35
A - 3	8.94	1.05	1.93	1.55	0.90	1.65
A - 4	9.56	0.76	1.39	1.66	0.85	1.36
M - 1	8.35	2.02	3.71	1.66	0.22	0.52
M - 2	9.07	1.57	2.88	1.66	0.37	0.69
M - 3	9.17	0.45	0.82	1.74	0.43	0.78
M - 4	9.84	1.31	2.43	1.79	0.17	0.31
T - 0	7.44	0.90	1.65	1.01	0.14	0.26

TABLA II

Número de nódulos formados en las raíces y contenido en nitrógeno de la parte aérea de las plantas de soja
(Valores medios de cuatro repeticiones)

Trat.	N.º de nódulos	M. D. S.		N g/100	M. D. S.	
		0.05	0.01		0.05	0.01
S - 1	132	33.75	61.95	2.49	0.13	0.24
S - 2	172	38.25	70.21	2.73	0.06	0.12
S - 3	168	31.50	57.82	2.75	0.20	0.37
S - 4	167	31.50	57.82	2.65	0.22	0.41
A - 1	186	27.00	49.56	2.75	0.22	0.41
A - 2	142	33.75	61.95	2.88	0.22	0.41
A - 3	140	27.00	49.56	2.70	0.44	0.82
A - 4	141	27.00	49.56	2.67	0.18	0.33
M - 1	195	38.25	70.21	2.65	0.22	0.41
M - 2	170	38.25	70.21	2.68	0.22	0.41
M - 3	170	42.75	78.47	2.59	0.22	0.41
M - 4	167	36.00	66.08	2.57	0.22	0.41
T - 0	132	20.55	37.17	2.27	0.13	0.24

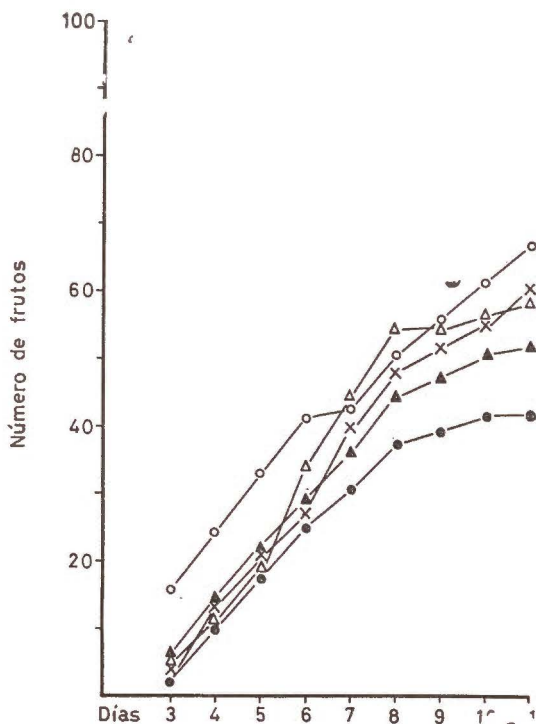


Fig. 1.—Evolución de la fructificación. Ensayo correspondiente a los tratamientos fertilizados con sulfato, T (+); S-1 (●); S-2 (▲); S-3 (Δ); S-4 (○)

DISCUSIÓN

En estos resultados se ha observado un efecto claro del azufre sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas de soja. Al utilizar este elemento como sulfato (tratamientos S y M) se manifiesta, en los datos correspondientes al peso seco (tabla I), una disminución del peso de la parte aérea, únicamente en el tratamiento S-1. Esto puede ser atribuido a que en un suelo pobre en azufre, como el utilizado, este elemento queda inmovilizado por las características edafológicas del suelo (franco-limoso procedente de aluviones formados por arrastre de tierras), además de dificultar la absorción de otros nutrientes.

Este efecto es paralelo al encontrado cuando se estudia la microflora total y bacterias del ciclo del azufre del suelo en experimentos realizados en las mismas condiciones (13). En tratamientos con una mayor cantidad de sulfato se observa que todos los tratamientos realizados son significativos ($P = 0,01$) con respecto al testigo. Al comparar el

peso seco de la parte aérea en los tratamientos que recibieron azufre en forma elemental y en forma mixta (tratamientos A y M) se puede llegar a la misma conclusión, siendo todos los tratamientos significativos con respecto al testigo ($P = 0,05$) a excepción del A-1 y con una mayor significación ($P = 0,01$) los siguientes tratamientos: A-4, M-2, M-3, M-4.

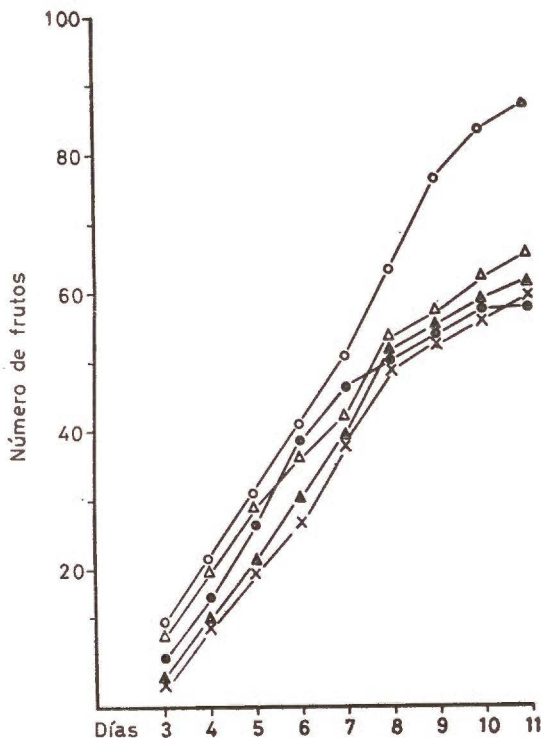


Fig. 2.—Evolución de la fructificación. Ensayo correspondiente a los tratamientos fertilizados con azufre elemental. T (+); A-1 (●); A-2 (▲); A-3 (Δ); A-4 (○)

La cosecha obtenida expresada por los pesos secos de los frutos muestran una correlación con los resultados correspondientes al peso seco de la parte aérea, anteriormente expuestos. La única disminución observada es la antes aludida en el tratamiento con poco sulfato (S-1). Se incrementa considerablemente la cosecha en relación al testigo, en el resto de los tratamientos ensayados, que recibieron una dosis mayor de sulfato o bien en todos los fertilizados con azufre elemental y en forma mixta (tratamientos A y M), siendo las diferencias halladas muy significativas ($P = 0,01$ y $0,001$).

Las deficiencias de azufre asimilable en los suelos donde se cultivan leguminosas, han sido halladas en un 86 por 100 de los casos ana-

lizados, midiendo la cantidad de sulfato extraíble existente en los 30 primeros centímetros del suelo (19). Al adicionar el azufre en forma sulfato, éste es fácilmente lixiviado y a no ser que se adicione gran cantidad, o lo utiliza rápidamente el vegetal o no llega a ser asimilado, traduciéndose tal efecto en una disminución de la cosecha.

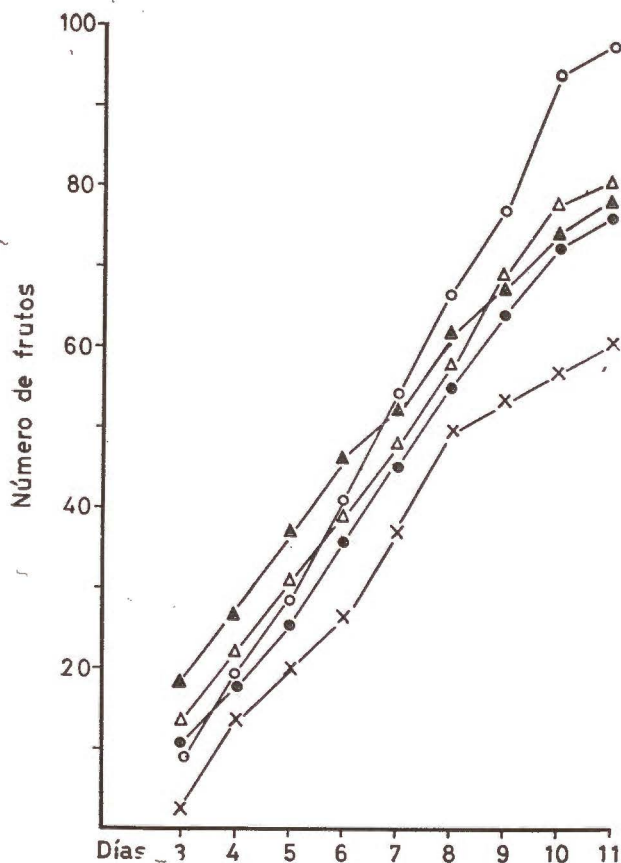


Fig. 3.—Evolución de la fructificación. Ensayo correspondiente a los tratamientos con fertilización mixta. T (+); M-1 (●); M-2 (▲); M-3 (Δ); M-4 (○)

Los efectos tan sorprendentes observados en la fructificación: un 145 por 100 del número de frutos encontrados con respecto al testigo, cuando se utiliza el azufre elemental (A-4) (fig. 2) y un 165 por 100 en los mismos, cuando se suministra el azufre de forma mixta (fig. 3), es un hecho que parece atribuirse a un efecto hormonal (Recalde, comunicación personal).

Al considerar la evolución de la fructificación en la fig. 1, se observa que, excepto en el tratamiento con una dosis de 80 Kg/Ha., todos los

demás presentan unos resultados similares al testigo. En caso de adicionar al suelo el azufre elemental o en forma mixta (figs. 2 y 3, respectivamente), se observa, de forma destacada, una precocidad de la fructificación para cada uno de los tratamientos ensayados con respecto al testigo, además de obtener una cosecha de frutos, reflejados tanto en el número de ellos como en el peso de los mismos (tablas II y I, respectivamente), superior en todo momento a la cosecha obtenida en los testigos.

El número de nódulos encontrados en las raíces de las plantas de soja al hacer el recuento, se manifestó aumentando, con respecto al testigo, en aquellos tratamientos que se utiliza el azufre en forma mixta. En estos tratamientos existen formas de azufre asimilables (sulfatos) en el inicio del cultivo y además en épocas posteriores, ya que el azufre elemental existe y sufre una lenta transformación microbiana (11). Todos estos tratamientos han sido significativos respecto al testigo ($P = 0,05$). La aparición de los nódulos en las raíces de leguminosas ocurre normalmente interviniendo el sulfato en la formación de aquellos, pudiéndose apreciar este efecto en los tratamientos con fertilización mixta y con sulfato (tratamientos M y S). Para el comportamiento observado en el tratamiento A-1, no existe una explicación acertada de los datos obtenidos; ahora bien, si se toma como índice de intensidad de fijación de nitrógeno, la relación peso fresco de la planta/número de nódulos, se encuentra que el valor obtenido es bastante menor que incluso el correspondiente al testigo.

Este comportamiento indica la necesidad de la presencia de un nivel adecuado de azufre asimilable para que exista una buena infección y una activa fijación de nitrógeno. El efecto negativo de determinadas cantidades de azufre elemental puede ser debido a que crea un hábitat no favorable para el desarrollo del *Rhizobium*, posiblemente por acidificación del suelo (1, 13).

Los niveles de nitrógeno encontrados en nuestras experiencias están de acuerdo con lo anteriormente expuesto. El azufre adicionado al suelo en cualquier forma y dosis se traduce en un aumento de la cantidad de nitrógeno encontrado en la parte aérea (7). Se indica que en todos los tratamientos realizados la significación encontrada para estos datos ha sido del 1 por 100 frente al testigo.

RESUMEN

Teniendo en cuenta que la fertilización con nitrógeno de la soja no se refleja en un incremento paralelo en la cosecha, siendo más importante el establecimiento de un medio adecuado para una importante fijación biológica de nitrógeno, se ha investigado el efecto de la posible fertilización con distintas formas de azufre: Sulfato, azufre elemental y mixta (sulfato + azufre 1:1), ya que este elemento presenta una importancia particular para las leguminosas. Del estudio de los distintos parámetros tenidos en cuenta, puede deducirse que la fertilización mixta parece ser la aconsejable después de la discusión de los resultados obtenidos.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) ADAMCZYK-WINIARSKA, Z., KROL, M., KOBUS, J. (1975). Microbiol oxidation of elemental sulfur in brown soil. *Plant Soil*, 43, 95-100.
- (2) ALLEN, O. N. (1951). *Experiments in soils bacteriology*. Burgess Publishing Minneapolis, Minnesota.
- (3) ARORA, S. K. (1971). Relation between sulfur content of leaf and methionine, cystine and cysteine content in the seeds of *Phaseolus aureus* as affected by sulfur, phosphorus and nitrogen applications. *Plant Soil*, 34, 91-96.
- (4) BEATON, J. D. (1971). Market potential for fertilizer sulfur. National Fert. Develop. Cent. Alabama, Bull. Y-35 Sept.
- (5) CALDWELL, A. C., SEIM, E. C., REHM, G. W. (1969). Sulfur effect on the elemental composition of alfalfa (*Medicago sativa* L.) and corn (*Zea mays* L.). *Agron. J.*, 61, 632-34.
- (6) C. I. A. F. (1969). Comité Inter-Institutos para el estudio de técnicas analíticas de diagnóstico foliar. Métodos de referencia para la determinación de los elementos minerales en vegetales. I. Nitrógeno, Fósforo, Sodio, Potasio, Calcio y Manganeso. *Anal. Edaf. Agrobiol.*, 28, 409-30.
- (7) ESTEBAN, E., GÓMEZ, M., HINOJOSA, E. (1971). Azufre en suelo. Efecto de la adición de sulfato. *Anal. Edaf. Agrobiol.*, 30, 433-38.
- (8) ISHIZUKA, J. (1970). Effects of solubles nitrogenous components on the growth of soybean plants. *Agricultural Research Quartely (JARQ)*, 5, 16-20.
- (9) KACAR, B. (1962). Sulfur determinations in soils. University of Nebraska, Coll. Agric. Depart. Agron. Lincoln, Nebraska.
- (10) KEMMLER, G. (1972). Sulfur supply to soils through potash fertilizers. *Ann. Agron.*, n.º hors serie, 295-306.
- (11) KROL, M., MALISZEWSKA, W., SINTA, J. (1972). Biological activity of soils strongly potentiated with sulfur. *Pol. J. Soil Sci.*, 5, 25-33.
- (12) LLUCH, C., OLIVARES, J. (1975). Efecto de la aplicación de azufre por vía foliar sobre la infección de las leguminosas por *Rhizobium*. V Congr. Nac. Microbiología. Salamanca.
- (13) LLUCH, C., OLIVARES, J. (1977). Evolution of microflora and sulfobacteria in soil added of sulfur in different forms. (In print.)
- (14) MANUEL-ARRANDO, M. (1973). Aplicación de azufre elemental y nitrógeno sobre la cosecha y contenido proteico del grano de trigo. Tesis doctoral. Facultad de Farmacia. Universidad de Granada.
- (15) MILLAR, C. E. (1955). In «Soil fertility». John Wiley and Sons., eds., Inc. New York, 218.
- (16) RECALDE, L., MARTÍN, E. (1968). Efecto en la cosecha de la aplicación de azufre pulverizado sobre las hojas de olivo durante el período de floración. II. Coloquio Europeo Mediterráneo, Sevilla, 235-41.
- (17) SHARMA, G. C., BRAFORD, R. R. (1973). Effect of sulfur on yield and aminoacids of soybeans. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 4, 77-82.
- (18) SINGH, H. G. (1970). Effect of sulfur in preventing the occurrence of chlorosis in peas. *Agron. J.*, 62, 708-11.
- (19) WALKER, D. R., DOORNENBAL, G. (1972). Soil Sulphate. II. As an index of the sulfur available in legumes. *Can. J. Soil Sci.*, 52, 261-66.

Recibido para publicación: 1-IX-77

EQUIPO AUTOMATICO PARA CULTIVO HIDROPONICO CON SOLUCION CIRCULANTE

por

M.^a P. SANCHEZ CONDE y P. AZUARA

SUMMARY

AUTOMATIC HIDROPONIC CULTIVATION SYSTEMS WITH CIRCULATING SOLUTION

An automatic hidroponic cultivation systems with a circulating solution that meets the necessary requeriments for the type of experiments in which it is necessary to conserve the concentration of the nutritive solution constant is being proposed.

The data obtained in a experiment which was realized with maize hybrid was exposed and studied.

INTRODUCCIÓN

En los experimentos realizados utilizando cultivos hidropónicos, un factor principal es la elección de un sistema de cultivo adecuado que reúna las condiciones necesarias para ser aplicado al estudio específico que se va a llevar a cabo.

Como problemas de carácter general que hay que resolver cuando se utilizan cultivos hidropónicos señalaremos la renovación y circulación de la solución nutritiva que se utiliza, así como el control de la concentración y el pH de la misma. La renovación de la solución nutritiva es precisa no sólo para mantener la concentración primitiva, sino también para eliminar la concentración de productos perjudiciales escretados por las raíces de las plantas en cultivo. El control del pH se debe efectuar diariamente.

Cuando se investiga en problemas de nutrición relacionados con la concentración del medio nutritivo se pueden adoptar dos criterios:

- a) Renovación muy frecuente de la solución nutritiva.
- b) Circulación de un volumen muy grande de solución nutritiva.

En los trabajos que realizamos en la actualidad es necesario conservar constante la concentración de la solución nutritiva utilizada y considerando que es poco económico y de gran manipulación el cambio frecuente de la solución nutritiva hemos adoptado el criterio de circulación de un volumen grande de solución nutritiva.

El primer problema que se planteó fue la elección del procedimiento de circulación de la solución. El sistema que se vaya a utilizar para cultivo en solución circulante, consideramos que debe reunir las siguientes condiciones:

1. Funcionamiento automático.
2. Circulación y aireación de la solución nutritiva regulables según las necesidades.
3. Facilidad de toma de muestra para el control de la concentración y pH de la misma.
4. Fácil renovación de la solución nutritiva.
5. Montaje sencillo.
6. Todo el sistema debe estar integrado por material que no contamine la solución.
7. Coste reducido.
8. Utilización de materiales de fácil adquisición en el mercado.

Existen varios métodos que se utilizan en diseños de sistemas para cultivo hidropónico, con el fin de hacer circular la solución nutritiva, sin embargo el método de «absorción por aire» (air-lift) tiene muchas ventajas comparado con otros, que son muy laboriosos o complicados, como el método de irrigación por gravedad, o la técnica de autoirrigación basada en la succión con cilindros cerámicos porosos y que aplica Von Haut (13) en su sistema.

En los sistemas de solución circulante que requieren bombas que impulsen la solución nutritiva en el circuito, además de ser complicados, la solución nutritiva puede contaminarse al estar en contacto con las partes metálicas de las mismas; las bombas que se utilizan actualmente se fabrican generalmente de material plástico, con lo cual se evita este peligro, pero su coste es bastante elevado. Algunos equipos que utilizan este método son los de Swam (12) y W. van Driel (14).

Un sistema automático para riego de tiestos experimentales, con soporte inerte, basado en el método de «absorción por aire», fue introducido en 1938 por Chapman y Liebing (3) y modificado más tarde por Eaton y Bernardin (7). Basándose principalmente en este método de hacer circular la solución nutritiva existe una extensa bibliografía sobre sistemas de cultivo hidropónico como son los trabajos de Andrew y Peters (1), Cooper (4), Dekock y Hall (6), Haahr (8), Hoagland y Arnon (9), Johnson (10) y Willians (15) entre otros, en los cuales cada autor adapta el diseño a sus necesidades.

El sistema automático para cultivo hidropónico diseñado por nosotros está basado en el utilizado por W. van Driel (14), empleando para elevar la solución nutritiva desde los bidones depósitos al tiesto nivel el procedimiento de «absorción por aire», con lo cual se consigue una renovación más constante de la solución nutritiva en los tiestos de cultivo, debido a que el volumen de ésta que sube desde el depósito de almacenaje a los tiestos de cultivo es mucho menor, del orden de litros/hora, regulable según el caudal de aire que se utilice, mientras que con la bomba centrífuga el caudal es del orden de litros/minuto, y por tanto su funcionamiento queda reducido a períodos de tiempo muy cortos.

MATERIALES Y MÉTODOS

El esquema del sistema de cultivo queda formado como se indica en la figura 1 y en las fotos números 1, 2 y 3.

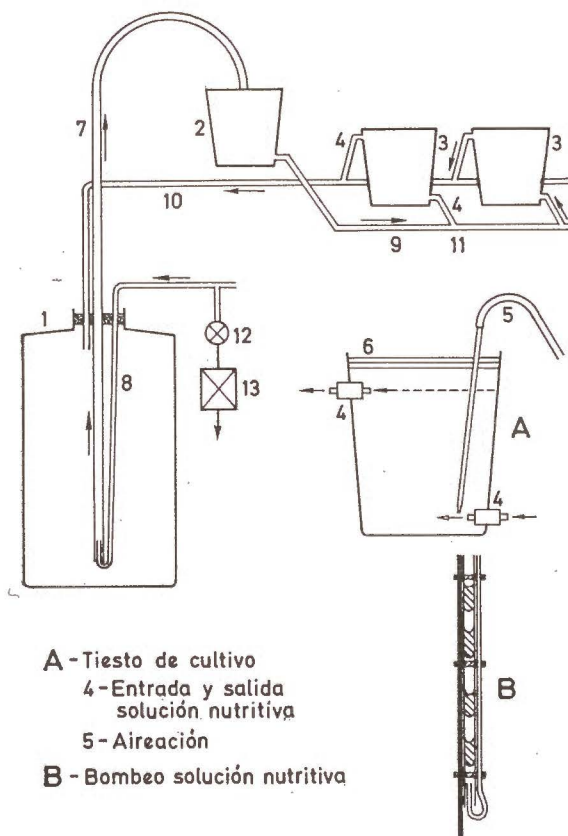


Fig. 1.—Equipo de cultivo

La solución nutritiva que está almacenada en bidones de polietileno (1) de 50 litros de capacidad, se eleva al primer tiesto (2), que actúa como depósito nivel, mediante bombas de aire (12) controladas por un reloj eléctrico (13) programable por un tiempo máximo de veinticuatro horas, al cabo de las cuales repite el programa. La entrada de la solución nutritiva en los tientos de cultivo (3), de una capacidad útil de 1,25 litros, se produce por la parte inferior (4) y un nivel situado por la parte superior sirve de salida a la solución que mediante un tubo regresa de nuevo al bidón de 50 litros, desde donde de nuevo comenzará su ciclo.

El sistema de aireación está formado por una bomba de aire, que

mediante tubos de plástico perforado por agujas inyectoras, conducen el aire a un tubo de vidrio que termina en una salida de 1 mm de diámetro y que va introducido en la solución nutritiva del tiesto de cultivo. Estas bombas de aire son controladas también por el reloj eléctrico (13).

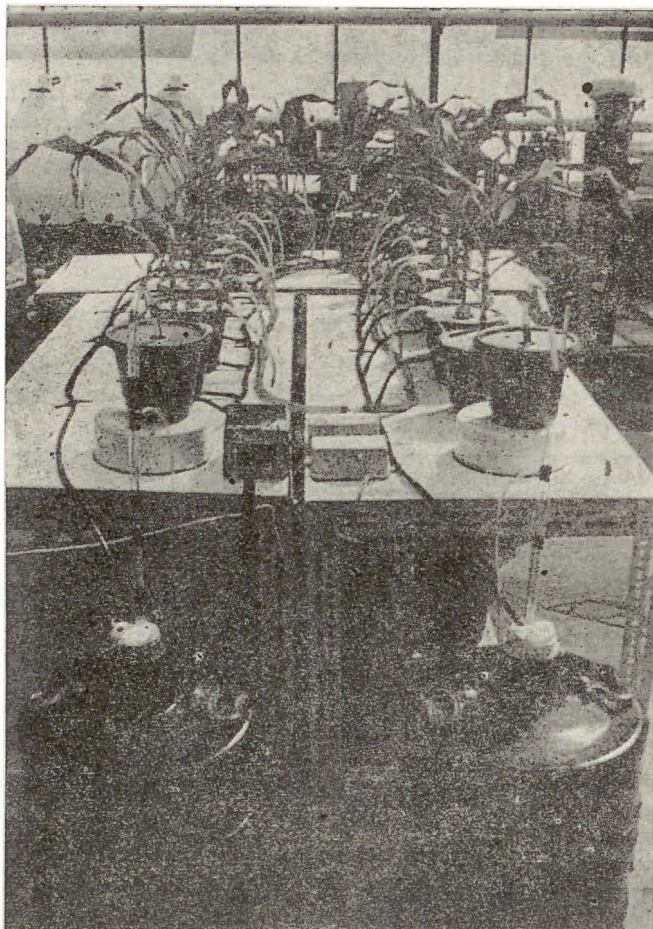


Foto 1.— Montaje general del equipo de cultivo

Este equipo de cultivo permite una circulación máxima de aproximadamente 13 litros/hora, utilizando una bomba de aire por cada dos depósitos de almacenaje, lo que para un circuito de diez tiestos de cultivo de la capacidad indicada supone la renovación de la solución nutritiva cada hora.

Todo el material utilizado en este equipo de cultivo es de plástico y la clase del mismo y dimensiones quedan especificadas a continuación, según el esquema de la figura 1:

1. Bidón de polietileno de 50 litros de capacidad para la solución nutritiva.
2. Tiesto nivel, de 1,25 litros de capacidad útil, situado a 7 cm de altura.
3. Tiesto de cultivo de 1,25 litros de capacidad útil.



Foto 2.—Detalle de un tiesto de cultivo:

- 1.—Tubo de aireación de la solución nutritiva
- 2.—Entrada de la solución nutritiva
- 3.—Salida de la solución nutritiva

4. Unión de los tiestos de cultivo a la red de circulación de la solución nutritiva a través de un tapón de goma, núm. 2, atravesado por un tubo de vidrio, al cual van unidos los tubos de plástico.

5. Tubo de aireación, que se compone de un tubo de vidrio que termina en una salida para el aire de 1 mm. de diámetro. Este tubo va unido a la tubería de aire a través de un tubo de goma virgen y una aguja de 1 mm de diámetro.

6. Tapas de los tiestos de 153 mm de diámetro (este valor tiene como objeto que encaje en los tiestos) y 5 mm de espesor, con un orificio central de 30 mm. de diámetro, para colocar la planta y otro lateral de 8 mm para introducir el tubo de aireación, situado a 50 mm del centro de la tapa. Cada tiesto lleva dos tapas, una inferior de plástico rígido y otra superior de madera.

7. Tubo de plástico flexible de 10 mm de diámetro exterior y 8 mm de diámetro interior, por el cual asciende la solución del bidón al tiesto nivel impulsada por aire.

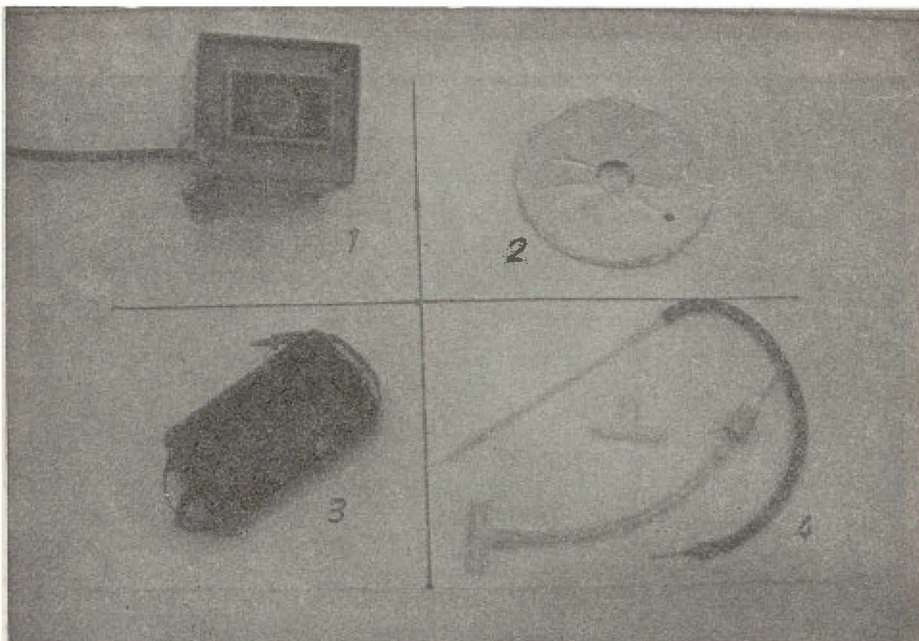


Foto 3.—Algunos componentes del equipo de cultivo:

- 1.—Reloj temporizador eléctrico.
- 2.—Tapa del tiesto de cultivo.
- 3.—Bomba de aire.
- 4.—Varilla de aireación, T de plástico, elemento de conexión entre el tiesto de cultivo y la red de circulación.

8. Tubo de plástico flexible de 6 mm de diámetro exterior y 4 mm de diámetro interior por el cual circula el aire que se utiliza para impulsar la solución nutritiva. Este tubo debe ir introducido aproximadamente 4 ó 5 cm en el tubo del apartado 7. Ambos tubos van fijados a una varilla de vidrio para darles la forma necesaria.

9-10. Tubos de plástico con las características del apartado 7 por los cuales llega y sale la solución nutritiva a los tiestos de cultivo.

11. Las conexiones se hacen mediante T de plástico de 9 mm de diámetro exterior.

12. Bomba de aire Rena-300. Son necesarias: una por cada dos depósitos de almacenaje y una para la aireación de cada dos unidades de diez tiestos de cultivo.

13. Reloj temporizador eléctrico Kowell, de una potencia máxima

de 3.000 wátios, programable por períodos de media hora en adelante, por un tiempo máximo de veinticuatro horas, al cabo de las cuales repite el programa.

El pH se ha medido utilizando electrodo de vidrio y la conductividad con un conductímetro Radiometer Copenhagen.

Las determinaciones analíticas se han realizado, para el Mg, Fe, Mn y Zn por absorción atómica; P por colorimetría en autoanalizador Technicon (2), el N por electrodo de ión selectivo.

Los datos que aparecen en el presente trabajo se pueden aplicar al cultivo del maíz híbrido variedad Inia 8302 durante sus primeras seis semanas de cultivo, aproximadamente la mitad de su ciclo vegetativo, que es el que hemos utilizado en este experimento.

RESULTADOS

En el histograma gráfico núm. 1, quedan registradas las condiciones de temperatura y humedad relativa que existieron en el invernadero durante el desarrollo del experimento.

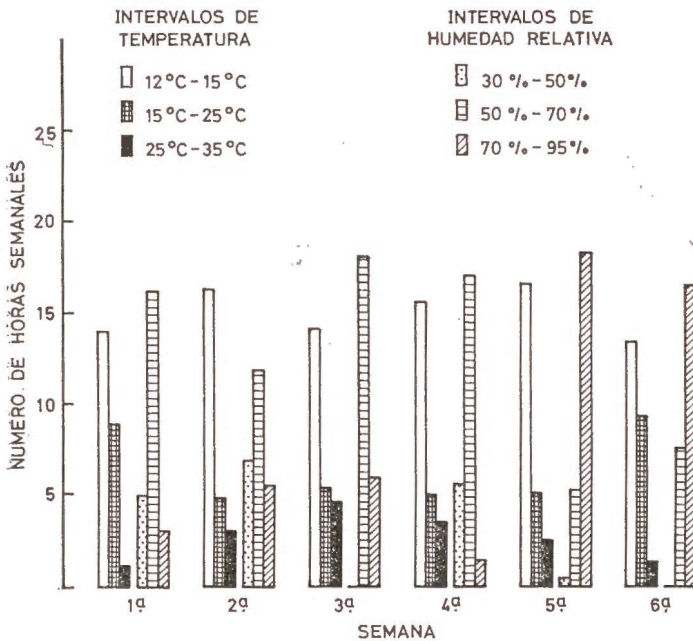


Gráfico 1

En las tablas I y II vienen reseñados los datos de pH y conductividad y los de concentración de macroelementos, determinaciones realizadas durante los cuarenta y un días que dura la experiencia.

En las tablas aparecen cuatro datos para cada determinación, que se corresponden con las repeticiones del experimento. Cada uno de estos datos es el valor medio de dos determinaciones efectuadas sobre dos muestras distintas tomadas de un mismo bidón.

T A B L A I
Valores del pH y de la conductividad

Día	pH				Conductividad $\times 10^{-3}$ mho			
1	5,9	6,0	6,0	6,0	1,6	1,6	1,6	1,6
2	6,0	6,0	6,0	6,1	1,6	1,6	1,6	1,6
3	6,0	6,0	6,0	6,1	1,6	1,5	1,6	1,6
4	6,1	6,1	6,1	6,1	1,6	1,5	1,6	1,5
5	6,0	6,1	6,1	6,1	1,5	1,6	1,6	1,6
6	6,1	6,1	6,1	6,1	1,6	1,6	1,6	1,6
7	6,0	6,1	6,1	6,1	1,6	1,6	1,6	1,6
8	5,8	5,8	5,8	5,8	2,3	2,3	2,3	2,4
9	5,8	5,8	5,8	5,8	2,3	2,3	2,4	2,4
10	5,9	5,8	5,9	5,8	2,3	2,3	2,3	2,4
11	5,9	5,9	5,9	5,9	2,3	2,3	2,2	2,3
12	5,8	5,9	5,9	5,8	2,3	2,3	2,3	2,3
13	5,9	5,8	5,9	5,9	2,3	2,3	2,3	2,3
14	5,9	5,9	6,0	6,0	2,2	2,3	2,2	2,3
15	5,9	5,9	5,9	6,0	2,2	2,2	2,2	2,3
16	6,0	6,0	6,0	6,0	2,2	2,3	2,2	2,3
17	6,0	6,0	6,0	6,0	2,2	2,3	2,2	2,3
18	6,1	6,0	6,1	6,1	2,2	2,2	2,2	2,3
19	*6,2	6,1	6,2	6,1	2,1	2,2	2,1	2,2
20	5,8	5,8	5,8	5,8	2,1	2,1	2,1	2,2
21	5,8	5,9	5,8	5,8	2,0	2,1	2,0	2,1
22	5,9	5,8	5,9	5,9	2,1	2,1	2,0	2,2
23	5,9	5,9	6,0	5,9	3,1	3,2	3,1	3,2
24	6,0	5,9	6,0	6,0	3,1	3,2	3,1	3,2
25	6,0	6,1	6,1	6,0	3,0	3,1	3,0	3,2
26	6,1	6,1	6,2	6,1	3,1	3,1	3,0	3,2
27	*6,1	6,2	6,2	6,2	3,0	3,0	2,9	3,1
28	5,8	5,8	5,8	5,8	2,9	2,9	2,9	3,1
29	5,8	5,9	5,9	5,8	2,9	2,8	2,9	3,0
30	5,9	5,9	6,0	6,0	2,8	2,9	2,8	3,0
31	6,0	5,9	6,1	6,0	2,8	2,8	2,7	2,9
32	6,1	6,1	6,1	6,0	2,8	2,9	2,7	2,9
33	*6,1	6,2	6,2	6,1	2,7	2,8	2,7	2,9
34	5,8	5,8	5,8	5,8	2,8	2,7	2,6	2,8
35	6,0	5,9	5,8	5,9	2,7	2,8	2,7	2,8
36	5,8	5,9	5,8	5,9	3,2	3,2	3,1	3,2
37	5,9	5,9	5,8	5,8	3,2	3,2	3,1	3,2
38	5,9	6,0	5,9	6,0	3,1	3,1	3,0	3,1
39	6,0	6,1	6,0	6,0	3,0	3,1	3,0	3,1
40	6,1	6,1	6,0	6,1	2,9	3,0	2,9	2,9
41	6,2	6,2	6,1	6,2	3,0	2,9	2,9	2,8

* Acidificación con ácido sulfúrico.

La renovación de la solución nutritiva se ha efectuado en cuatro períodos que comprenden los siguientes días: primer período días 1

al 7; segundo período días 8 al 22; tercer período días 23 al 35; y cuarto período días 36 al 41.

Se observa que durante los siete primeros días de cultivo, primer período, tanto los valores de la conductividad como los de la concentración de los elementos de la solución nutritiva utilizada son más bajos que para el resto del tiempo, esto es debido a que se ha tenido en cuenta que la planta cultivada es un híbrido y que como tal su ciclo vegetativo es más corto que el de línea pura, al mismo tiempo que su desarrollo es considerablemente mayor que el del anterior, lo cual va unido a unas necesidades mucho más elevadas en elementos nutritivos, por lo cual hemos considerado que a partir del séptimo día, la concentración en nitratos y fosfatos de la solución nutritiva de Hoagland y Snyder se debería aumentar en una mitad más. Con objeto de no producir un desequilibrio en la solución nutritiva se ha aumentado también la concentración del resto de nutrientes en la proporción en que se aumentan los nitratos.

El Mg sin embargo es necesario aumentarlo en el doble y posteriormente, tercer y cuarto períodos de cultivo, en uno y medio más de lo normal, pues se ha observado en experimentos anteriores que la relación Mg/K + Ca de la solución nutritiva de Hoagland y Snyder es baja para el perfecto desarrollo de este híbrido.

A partir del octavo día se ha llevado un control riguroso del Fe, ya que el aumento del fósforo introducido en la solución nutritiva, induce una deficiencia de Fe como afirman Deckcock y col. (6) y Miller y col. (11) apareciendo un precipitado del Fe con el fosfato. La clorosis que se acusa ligeramente en las plantas por este motivo desaparece al adicionar Fe en cantidad superior a lo normal.

El Mn y el Zn se han determinado el primero y último día de utilización de la solución nutritiva. A partir del segundo período de cultivo las variaciones del Mn son de 0,2 ppm., mientras que la concentración del Zn permanece prácticamente constante hasta el cuarto período de cultivo en el cual las variaciones experimentadas son de 0,03 ppm.

El criterio adoptado ha dado resultados positivos, pues se han obtenido plantas muy desarrolladas y de aspecto normal.

pH

Los valores de pH para los cuales se desarrolla mejor el maíz están comprendidos entre 5,5 y 6,5, por este motivo se ajusta el pH de la solución nutritiva alrededor de seis. Los valores de pH de la solución nutritiva reflejados en la tabla I muestran que no existe mucha variación y cuando el valor llega a 6,2, que suele ser cada cinco días a partir de los dieciocho días de cultivo, se acidifica la solución nutritiva con ácido sulfúrico. Esta acidificación se puede realizar también con ácido nítrico o fosfórico si se han producido variaciones de estos aniones mayores que de los cationes que les acompañan (K, Ca).

T A B L A 2

Día	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
NO ₃ ⁻ ppm	935	935	935	935	935	930	915	1400	1350	1350	1325	1280	1280	1250	1230	1220	1200	1185	1150
	935	935	935	935	935	935	930	1400	1350	1350	1325	1300	1275	1250	1225	1220	1200	1175	1150
	935	935	935	935	935	935	920	1400	1350	1350	1350	1300	1275	1250	1250	1230	1210	1200	1180
	930	935	930	935	930	920	900	1410	1350	1350	1325	1300	1300	1250	1230	1230	1220	1210	1200
PO ₄ ⁼ ppm	92	93	93	89	89	90	88	139	139	138	139	135	133	126	124	120	122	122	120
	96	95	90	90	90	91	90	140	138	135	133	135	135	130	129	126	125	124	122
	96	93	93	93	96	93	92	140	138	135	132	130	129	129	128	126	123	123	123
	96	93	91	90	90	92	90	139	138	136	135	136	135	130	126	126	125	124	122
K ppm	236	236	240	231	231	230	230	354	350	345	350	345	340	340	330	335	335	329	330
	236	231	231	227	228	231	231	350	350	350	345	350	340	340	335	335	330	325	330
	244	240	246	236	237	238	240	355	355	345	340	340	345	345	340	335	335	330	330
	245	238	244	235	240	240	239	360	357	345	340	345	345	350	340	346	339	335	340
Ca ppm	199	200	190	190	190	195	190	292	300	285	285	300	300	270	270	270	285	270	285
	193	197	190	190	190	195	190	300	300	285	270	285	285	270	270	270	270	285	285
	204	200	204	204	204	200	197	300	300	285	300	285	270	300	270	270	285	285	270
	204	200	190	190	190	190	190	300	300	285	285	285	300	285	270	285	270	285	270
Mg ppm	48	48	49	47	46	48	47	106	106	104	107	106	107	106	101	100	98	96	95
	47	47	47	48	47	46	47	102	102	101	102	101	101	101	101	99	96	96	95
	50	49	50	51	50	50	50	103	103	102	102	102	102	103	100	101	98	96	95
	48	48	48	49	50	48	48	105	103	103	105	106	106	104	102	98	98	96	94

Conductividad

Los valores de conductividad que quedan reflejados en la tabla I experimentan una ligera disminución en los últimos días de uso de la solución nutritiva, siendo función de la edad de la planta la mayor variación de la conductividad.

Consideraciones sobre la concentración de la solución nutritiva

Las soluciones nutritivas utilizadas en el experimento poseen concentraciones demasiado elevadas en macroelementos para los aparatos que se utilizan en su análisis, por lo cual se deben realizar diluciones que introducen un factor que da como resultado el que diferencias de 67 ppm en NO₃⁻, 3 ppm en PO₄⁼, 10 ppm en K, 20 ppm en Ca y 1 ppm en Mg no deban tenerse en cuenta como variaciones en la concentración.

Valores de la concentración de macroelementos en ppm

20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41
1125	1100	1100	1425	1425	1375	1300	1250	1200	1150	1100	1050	1000	950	875	855	1400	1400	1350	1300	1250	1225
1125	1125	1100	1400	1375	1350	1300	1250	1225	1200	1175	1150	1100	950	925	900	1425	1350	1325	1250	1225	1200
1180	1150	1135	1400	1350	1325	1300	1275	1200	1150	1125	1000	975	950	950	925	1410	1375	1350	1325	1300	1270
1185	1175	1165	1425	1400	1375	1350	1300	1250	1200	1175	1125	1100	1050	1050	1025	1400	1375	1325	1325	1300	1275
121	120	118	140	143	140	138	137	130	126	125	121	116	110	105	101	139	138	136	130	130	127
122	120	120	142	144	140	137	136	132	128	124	123	117	113	107	105	141	136	136	130	128	125
122	121	120	144	144	140	140	135	131	125	120	116	110	106	104	104	140	138	135	130	126	120
120	121	117	145	142	140	138	136	129	126	122	120	116	112	108	100	140	138	136	132	128	125
329	325	320	357	357	350	350	346	346	340	332	330	320	310	310	305	350	350	345	342	340	340
332	326	320	362	362	355	356	350	350	345	342	335	330	325	318	320	355	350	350	345	342	342
325	325	325	350	350	344	345	340	342	338	333	330	325	319	316	310	350	350	350	345	340	338
330	332	330	350	360	345	340	338	330	331	324	320	312	305	308	300	360	355	356	353	346	345
285	270	285	320	320	310	310	295	310	310	310	310	320	310	320	310	300	300	300	290	310	290
270	270	270	320	320	290	310	310	300	300	300	300	310	300	310	310	320	320	300	320	300	310
270	285	270	300	300	300	300	285	300	300	285	300	300	290	300	290	300	300	300	300	290	300
285	285	285	300	300	300	300	285	300	300	300	285	300	300	300	300	300	290	290	300	285	285
94	95	94	140	141	138	135	134	130	126	123	121	122	120	118	119	145	145	142	141	138	136
91	93	93	150	145	145	143	139	137	134	132	130	127	125	123	125	146	145	146	142	138	135
95	97	95	145	145	143	142	142	137	134	130	128	127	125	124	124	148	146	142	143	140	141
95	94	93	146	145	145	142	140	138	135	131	129	128	126	125	125	145	145	143	141	140	138

La solución nutritiva de Hoagland y Snyder contiene por litro 15 meq de NO_3^- (933 ppm), 3 meq de PO_4^{3-} (95 ppm), 6 meq de K (236 ppm), 10 meq de Ca (200 ppm) y 4 meq de Mg (48 ppm). Consideramos que las variaciones de 3 meq de NO_3^- , 0,25 meq de PO_4^{3-} , 1,2 meq de K, 2 meq de Ca y 0,8 meq de Mg no inciden en el desarrollo normal de la planta.

Nitratos

En el primer período de cultivo, no se aprecia variación en el contenido de nitratos, como queda reflejado en la tabla II.

Para el segundo, tercer y cuarto período el contenido en nitratos es de 22,5 meq/l en la solución nutritiva. Consideramos que variaciones de hasta 3,37 meq/l que equivalen a 210 ppm no tienen incidencia. Las variaciones de nitratos se acusan en el segundo período de cultivo a partir de los doce días y en el tercer período a partir de la semana.

Fosfatos

Los fosfatos no varían en el primer período de cultivo, tabla II. Durante el resto del cultivo, se comprueba una disminución en el contenido de fosfatos debido por un lado a su absorción por la planta y por otro a su precipitación con Fe, como se ha comentado. Sin embargo esta disminución no se acusa en el desarrollo de la planta, ya que siempre se renueva la solución nutritiva antes de que los valores de fosfato sean inferiores a los de la solución nutritiva de Hoagland y Snyder.

Potasio

El K no varía en el primer período de cultivo como se observa en la tabla II. El contenido de K en la solución nutritiva durante los demás períodos de cultivo es de 9 meq/l, variaciones de 1,35 meq/l correspondientes a 53 ppm no se deben tener en cuenta. Por tanto no se producen variaciones en la concentración de la solución nutritiva.

Calcio

El contenido de Ca en la solución nutritiva a partir del primer período de cultivo es de 15 meq/l, diferencias de 2,25 meq/l correspondientes a 45 ppm consideramos que no tienen influencia en el cultivo.

Los valores de Ca indicados en la tabla II muestran que no existen diferencias de concentración durante todo el tiempo del experimento.

Magnesio

Durante el primer período de cultivo no hay variación de Mg, tabla II. En el segundo período, la solución nutritiva contiene 8 meq/l, no teniendo incidencia variaciones de hasta 1,2 meq/l que corresponden a 14,4 ppm, debido a lo cual no hay variación de Mg en el segundo período de cultivo.

En el tercer período y en el cuarto el contenido de Mg en la solución nutritiva es de 10 meq/l. Variaciones de 1,5 meq/l correspondientes a 18 ppm no se deben tener en cuenta, así pues en el tercer período varía a partir de la semana y durante el cuarto período no experimenta variación.

Sodio

Las determinaciones de sodio no están incluidas en la tabla II, pues se obtienen siempre los mismos valores, aproximadamente

100 ppm, esto es debido a que la planta dispone de suficiente potasio al mismo tiempo que las cantidades de sodio frente a las de potasio en el medio nutritivo son muy pequeñas, pues el que contiene procede como impurezas de los reactivos utilizados y de la sosa añadida a la solución nutritiva para ajustar el pH entre los límites adecuados al cultivo.

CONCLUSIONES

Con la planta de maíz híbrido variedad Inia 8302 utilizando el volumen indicado por nosotros y el número de plantas señalado, si en los estudios a realizar se necesita conservar constante el pH habrá que acidificar cada cinco días a partir de la segunda semana. Para conservar constante la conductividad y la concentración de la solución nutritiva será necesario cambiar la solución o incrementar los elementos nutritivos para llevarles a la concentración inicial cada semana.

Si el control de la solución se desea efectuar a intervalos mayores habrá que utilizar o más volumen de solución o menor número de plantas.

RESUMEN

Se propone un equipo automático para cultivo hidropónico con solución circulante que cumple con los requisitos necesarios para el tipo de experimentación en el cual es necesario conservar la concentración de la solución nutritiva constante. Este equipo reúne además las condiciones de poca atención en su mantenimiento, montaje sencillo y coste reducido.

Se exponen y estudian los datos obtenidos en un experimento realizado con maíz híbrido.

*Instituto de Edafología y Biología Vegetal.
Departamento de Fertilidad de Suelos y Nutrición Vegetal.*

BIBLIOGRAFÍA

- (1) ANDREW, C. S. and PIETERS, W. H. J. (1962). A continuous nutrient flow technique for comparative studies in plant nutrition. *Aust. J. Agric. Res.*, **13**, 1054.
- (2) CADAHIA, C. (1973). Determinación simultánea de nitrógeno y fósforo en suelos y plantas con un sistema autoanalizador. *An. Edaf. y Agrob.*, XXXII, 479.
- (3) CHAPMAN, H. D. and LIEBING, G. F. (1938). Adaptation and use of automatically operated sand-culture equipment. *J. Agric. Res.*, **56**, 73.
- (4) COOPER, A. J., CHARLESWORTH, R. R. (1977). Nutritional control of a nutrient-film tomato crop. *Scientia Horticulturae*, **7**, 189.
- (5) DECKOCK, P. C. and HALL, A. (1962). The effect of nutrient concentration upon the growth and mineral composition of mustard plants. *Agrochimia*, **7**, 89.
- (6) DECKOCK, P. C., HALL, A. and McDONALD, M. (1960). A relation between the ratios of phosphorus to iron and potassium to calcium in mustard leaves. *Plant and Soil*, **12**, 128.
- (7) EATON, F. M. and BERNARDIN, J. E. (1962). Soxhlet-Type automatic sand cultures. *Plant Physiol.*, **37**, 357.
- (8) HAAHR, V. (1975). Comparison of manual and automatic irrigation of pot experiments. *Plant and Soil*, **43**, 497.
- (9) HOAGLAND, D. D. and ARNON, D. E. (1938). The water culture method for growing plants without soil. *Univ. Calif. Agric. Exp. Sta. Cir.*, **347**, 1-39.

- (10) JOHNSON, C. M. and ATKIN, S. (1939). An automatic plant irrigator and recorder. *Plant Physiol.*, 14, 391.
- (11) MILLER, G. W., BROWN, J. C. and HOLMES, R. S. (1960). Chlorosis in Soybean as related to iron, phosphorus, bicarbonate and cytochrome oxidase activity. *Plant Physiol.*, 35, 619.
- (12) SWAN, H. S. D. (1963). An automatic sub-irrigation sand culture apparatus. *For. Sci.*, 9, 63.
- (13) VON H. VAN HAUT, SCHOLL, G. und G. VAN HAUT. (1972). Ein doppelwandiges vegetationsgefäß aus kunststoff mit selbsttätiger bewässerung. *Landwirtschaftliche Forschung*, 25, 42.
- (14) W. VAN DRIEL (citado en HEWITT, E. J.) (1966). Sand and water culture methods used in the study of plant nutrition. *Commonwealth Agricultural Bureaux*.
- (15) WILLIAMS, D. E. (1961). The absorption of potassium as influenced by its concentration in the nutrient medium. *Plant and Soil*, 15, 387.

Recibido para publicación: 7-IX-77

INFLUENCIA DEL pH, ARCILLA Y MECANISMOS DE REACCION DEL FOSFORO EN EL SUELO SOBRE LA CAPACIDAD TAMPON DEL ION FOSFATO

por

J. A. DIEZ

SUMMARY

INFLUENCE OF pH, CLAY AND SOIL P REACTIONS MECHANISM ON PHOSPHATE BUFFER CAPACITY

According to the pH of the soil, is studied the role played by the quantity and type of clay as well as the exchangeable Al and Fe, on the buffer capacity of phosphorus.

In acid soils, phosphorus reactions are determined by exchangeable Al and Fe as well as by the degree of ageing of its crystals. Clay in those soils, is not important, since most of it is chloritized.

In calcareous soils, phosphorus buffer power, in direct dependence of clay content, however, certain types of clay, as expanded illite and smectite, clearly show fixing phosphorus properties.

High contents of Ca in the soil produce tri- and tetra- calcic phosphates formation of difficult solubility.

Diferentes mecanismos han sido propuestos hasta la fecha para establecer los soportes o lugares de adsorción del fósforo en el suelo. A la vista de los trabajos realizados en este sentido aparecen claramente diferenciadas dos tipos de reacciones del P, dependiendo del pH que presentan los suelos, ya que como ha sido observado por diversos investigadores (3, 4), las arcillas retienen más fósforo cuando son Ca-saturadas que cuando se encuentran ácido-saturadas.

Hemwal, en 1957 (4), establece los factores que controlan la retención y fijación del P en el suelo, tales como pH, contenido en arcilla, composición química y mineralógica, tipo y cantidad de cationes presentes, etc., demostrando el papel que juegan el Al y Fe en la fijación del P.

Por otra parte, Low y col. (6) observan que la caolinita se disocia de modo natural en el suelo, en Al^{+3} y sílice. La presencia de $PO_4H_2^-$ desplaza el equilibrio por la precipitación de fosfato de aluminio, favoreciendo la disolución de nuevas cantidades de caolinita. Este proceso tiene

lugar en dos fases: reemplazamiento superficial de los tetraedros de sílice por tetraedros de fosfato (mecanismo rápido) y descomposición de los fosfatos superficiales con precipitación de fosfato de aluminio (mecanismo lento).

Posteriormente Pa Ho Su y col. (10) hacen un estudio exhaustivo acerca de la adsorción de P por hidróxidos de aluminio, estableciendo que el polímero $(Al(OH)_2^+)_6$ a pH 4 es muy estable, pero a medida que aumenta el pH, lo hace el grado de polimerización disminuyendo el número de cargas positivas libres, lo que en consecuencia hace que disminuya la retención de P.

Por lo que respecta a la influencia que el tipo de arcilla ejerce sobre la adsorción de P, Muljadi y col. (7) clasifican algunas arcillas de acuerdo a su mayor o menor área superficial específica para el P, quedando en último término la caolinita. Por su parte llegan a establecer tres regiones de adsorción de distinta naturaleza.

Posteriormente Anthony y col. (1) estudian los factores que controlan la asimilabilidad de P-Al y P-Fe en suelos ácidos, diferenciando entre formas coloidales de fácil asimilabilidad y estados cristalinos como consecuencia del envejecimiento de los anteriores, cuya asimilabilidad para las plantas es prácticamente nula. En su trabajo señalan que la velocidad de cristalización es la que determina la asimilabilidad de estos compuestos de P, concluyendo que los P-Al cristalizan a mucho menor velocidad que P-Fe, lo cual hace de los primeros, compuestos mucho más asimilables. Estos resultados han sido apoyados por Tandon y col. (11) mediante técnicas de cambio isotópico comprobando que P-Fe son más lentamente cambiables que los P-Al.

Por lo que se refiere a las reacciones que tienen lugar en los suelos básicos con respecto al P, sus mecanismos son claramente diferentes. Ellis y Troug (3) sugieren que la retención de P por las arcillas, libres de óxidos de Fe y Al, se debe a la formación de complejos de P-Ca, mientras Calvert y col. (2) observan que a medida que aumenta la saturación de las arcillas por el Ca, aumenta igualmente la solubilidad del P, lo que según ellos puede ser atribuido, bien a la formación de P-Ca de mayor solubilidad que P-Al, o como sugiere Wild (12), a la formación de P-Al básico. De cualquier manera, parece claro que la solubilidad del P en el suelo, aumenta a medida que lo hace la saturación catiónica en el complejo de cambio.

En nuestra opinión, la capacidad tampón de P, así como la fijación que presentan los suelos, viene claramente determinada por el tipo de uniones que se establecen entre el ión fosfato y el correspondiente soporte del suelo. El objeto del presente trabajo es estudiar el papel que juegan sobre la capacidad tampón de P, tanto la arcilla como el Al y Fe cambiables en función del pH del suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. *Características generales de los suelos*

El experimento fue realizado con 27 suelos españoles representativos de diversas regiones, cuyas características fisicoquímicas abarcan una gran diversidad (tabla I). Los análisis se realizaron siguiendo los métodos del Departamento de Fertilidad de Suelos y Nutrición Vegetal (*).

2.2. *Determinación de las curvas P-EUF*

Aplicando la técnica de electroultrafiltración (8) a 5 g. de suelo tamizado a 1 mm. con voltajes variables, se obtuvieron las correspondientes curvas P-EUF de cada suelo, a partir de las cuales fueron determinados los siguientes parámetros de P: concentración de P en la solución del suelo, P potencialmente asimilable y capacidad tampón, cuyos valores se presentan en la tabla I.

A partir de los citados parámetros y siguiendo los cálculos propuestos por Nemeth (8) se determinó la capacidad de fijación de P en cada suelo.

El tipo de arcilla predominante en cada uno de los suelos se determinó a partir de las curvas K-EUF, siguiendo la interpretación dada por su autor (9).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una amplia revisión bibliográfica de los trabajos dedicados al estudio de las reacciones que controlan la química del P en el suelo nos permite establecer que dichas reacciones difieren ampliamente cuando se trata de suelos ácidos de cuando lo son básicos, hasta el punto de que podemos encontrar escasas reacciones que sean comunes a ambos tipos de suelos.

Bajo este planteamiento, en el presente trabajo, unos y otros suelos han sido estudiados por separado, habiendo obtenido una serie de resultados que apoyan este supuesto.

El bajo poder tampón de P puede estar determinado, bien porque el suelo presente una baja saturación de P, o bien porque a pesar de poseer ciertas cantidades de P, éste se encuentre fijado o en situación de difícil disponibilidad. Por el contrario un elevado poder tampón vendrá determinado por una adecuada saturación de P, así como porque las fuerzas de unión entre el P y su correspondiente soporte en el suelo sean débiles.

En la fig. 1 se presentan las curvas P-EUF correspondientes a los suelos ácidos ($\text{pH} < 7$). En ellas el poder tampón viene determinado

(*) Instituto de Edafología y Biología Vegetal de Madrid.

TABLA I

Algunas características de los suelos y parámetros de P

Suelos	Conc. P. sol. suelo ** mg/100 gr	P potencialmente asimilable *** mg/100 gr	Poder tampón de P * mg/100 gr	pH	Fijación Kg/Ha P	Arcilla %	Tipo de arcilla predominante
Z-4.....	0,008	0,052	3,15	8,1	200	7,4	Illita
Z-5.....	0,260	0,700	4,77	8,1	45	24,0	Illita saturada
Z-6.....	0,018	0,210	3,96	8,1	350	34,0	Illita expandida
G-1.....	0,020	0,210	3,15	8,0	350	21,0	Smectita
G-2.....	—	0,035	3,03	8,2	300	18,0	Smectita
G-3.....	0,020	0,040	3,85	8,25	300	18,8	Smectita
B-1.....	0,160	0,780	4,71	8,05	40	9,4	—
B-2.....	3,880	16,330	3,02	6,85	—	11,0	Illita saturada
B-2.....	0,900	2,260	5,69	7,60	—	20,0	Illita saturada
Te-1.....	0,356	2,336	6,62	7,80	—	30,4	Illita saturada
Te-2.....	1,800	6,140	14,03	8,35	—	54,6	Illita saturada
Te-3.....	0,148	0,174	2,97	6,75	500	32,4	Alofana
Ma-1....	1,388	3,770	6,62	7,55	—	11,0	Illita saturada
Ma-2....	0,820	2,240	5,81	7,80	—	10,6	Illita saturada
Ma-3....	0,042	0,132	3,03	7,00	300	11,6	Smectita
Se-1.....	—	—	2,92	7,85	350	25,0	Illita expandida
Se-2.....	0,840	4,100	10,09	7,60	—	21,5	Montmorillonita o caolinita
Se-3.....	0,168	0,344	3,24	7,20	150	6,0	—
Sa-1.....	0,040	0,196	3,15	5,60	200	7,0	Clorita secundaria
Sa-2.....	0,108	0,256	3,15	7,50	300	14,0	Illita expandida
Sa-3.....	0,048	0,160	3,27	5,55	200	8,0	Clorita secundaria
M-1.....	0,380	1,530	6,16	7,45	—	16,6	Illita saturada
M-2.....	0,060	0,450	3,73	5,45	100	23,6	Clorita primaria
M-3.....	0,056	0,280	3,47	5,60	200	26,0	Illita expandida
P-1.....	0,008	0,014	2,96	5,50	200	4,0	—
P-2.....	0,080	0,330	3,26	5,05	150	8,4	Clorita secundaria
P-3.....	0,296	1,468	4,86	6,05	—	8,0	—

* Se ha calculado a partir del P-EUF entre 30 y 35 min. a 400 volt. (x) aplicando la ecuación de Nemeth ($y = 5,79 x + 2,92$), en donde $y = P-NH_4Cl$ después de 15 extracciones mg/100 gr. Valores comprendidos entre 4 y 5 son suficientes.

** Estos valores corresponden al P liberado a los 10 min. por EUF. Es un índice del factor intensidad. Valores comprendidos entre 0,45 y 0,55 son considerados suficientes.

*** Estos valores corresponden a la suma de todas las fracciones de P liberado en los 35 min. de EUF. Valores comprendidos entre 1 y 1,5 son considerados normales.

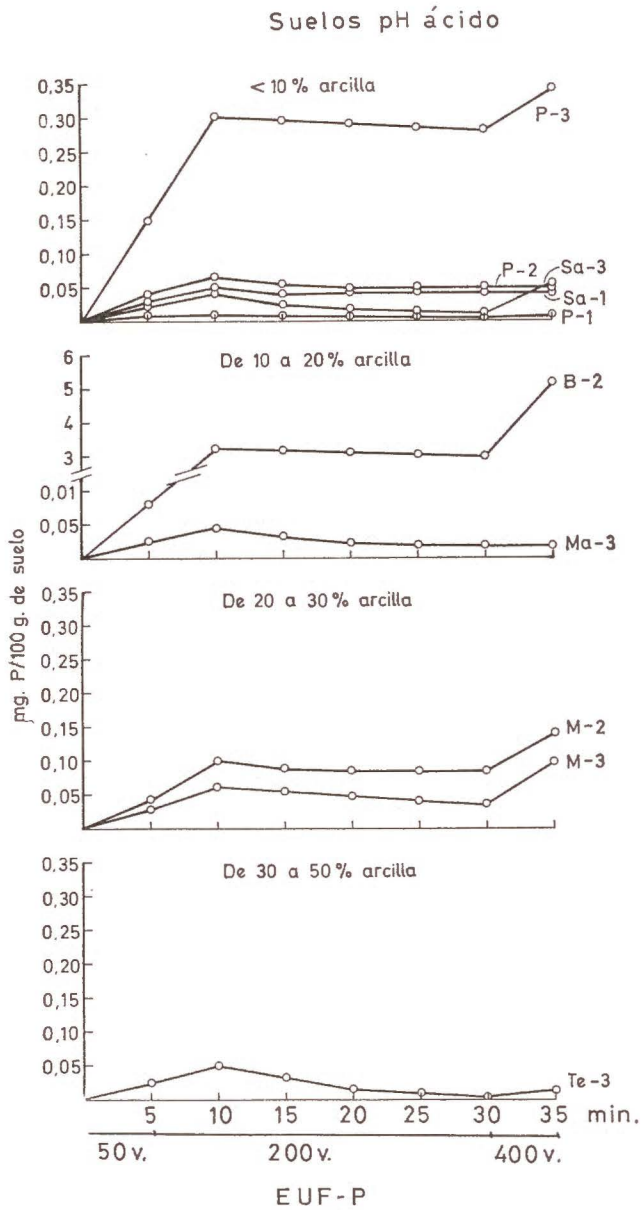


Fig. 1

por el último tramo de la curva (P liberado entre treinta y treinta y cinco minutos a 400 volt.). Los suelos se presentan clasificados de acuerdo al % de arcilla mostrado.

En general estos suelos poseen un bajo poder tampón, a excepción de B-2 y P-3, cuyos contenidos en P son elevados, ya que su concentración en la solución del suelo es aceptable y su poder tampón elevado. Sin embargo, debido a los bajos contenidos en arcilla, cabe suponer que ésta no ejercerá ninguna influencia como soporte del P. Si además tenemos en cuenta el pH que presentan dichos suelos, tendremos que considerar que su poder tampón estará determinado por compuestos del tipo P-Al en forma coloidal y por la presencia de ciertos contenidos en P-Fe.

Por otra parte, encontramos un grupo de suelos (P-1, P-2, Sa-1, Ma-3, Te-3) con distintos contenidos en arcilla, pero en cambio todos ellos presentan una baja concentración de P en la solución del suelo, así como escaso o nulo poder tampón, lo cual es indicativo de un bajo nivel de saturación de P, y además la falta de respuesta a los 400 volt., muestra que el escaso contenido en P debe encontrarse en forma de P-Al y P-Fe en grado avanzado de cristalización.

Por el contrario, los suelos Sa-3, M-2 y M-3 que presentan valores de arcilla del orden de 8, 23 y 26 por 100 respectivamente, muestran por un lado una baja concentración de P en la solución del suelo, pero por otro un apreciable poder tampón que a su vez no crece con el % de arcilla, por lo que dado el pH de los suelos, serán los P-Al y P-Fe predominantemente coloidales los que determinen el elevado poder tampón.

TABLA II

Coefficientes de correlación entre el poder tampón que presentan los suelos y el % de arcilla, calculados para diferentes grupos de suelos

Grupos de suelos analizados	Coefficiente de correlación lineal
Conjunto de 27 suelos (ácidos y básicos)s.....	0,572 **
9 suelos pH < 7.....	0,078
7 suelos pH < 7 (cloritas).....	0,138
18 suelos pH > 7.....	0,643 **
7 suelos pH > 7 (smectita o illita expandida).....	0,541
9 suelos pH > 7 illita saturada, motmorillonita o kaolinita)	0,818 **

** Significación al 1 por 100.

En suma, en los suelos de carácter ácido, las fuerzas de adsorción de la arcilla juegan un papel secundario en la retención de P, ya que se encuentran en gran parte bloqueadas por la presencia de óxidos e hidróxidos de Al y Fe saturando en gran parte sus cargas negativas (cloritización), lo que determina el que la química del P en dichos suelos dependa fundamentalmente de Al y Fe cambiables, así como del grado de cristalización de los compuestos P-Al y P-Fe formados, ya que en estado

coloidal son liberables, en cuyo caso contribuirán ampliamente al mantenimiento de la concentración de P en la solución del suelo, mientras que a medida que tiene lugar el proceso de cristalización, así como el envejecimiento de sus cristales por incorporación de nuevas moléculas de agua, el proceso se hace irreversible. De cualquier forma los P-Al y P-Fe son compuestos relativamente estables que permiten en general una lenta liberación de P.

Por otro lado, el grado de cloritización de las arcillas puede ser un índice de los contenidos en Al y Fe cambiables, como elementos generadores de dicho proceso. Así en los suelos P-2 y Sa-1 el Al y Fe presentes han cloritizado en primer lugar las arcillas, y en segundo se han combinado con el P para dar lugar a P-Al y P-Fe cristalizados, mientras que los suelos M-2 (clorita primaria) y M-3 (illita expandida), al no presentar un grado tan avanzado de cloritización es posible que permita a la arcilla jugar un cierto papel en la retención de P en forma de $(\text{PO}_4\text{H}_2)_2\text{Al}^+$, si bien deben predominar los P-Al y P-Fe coloidales.

Estas observaciones han sido corroboradas por los coeficiente de correlación calculados entre el poder tampón que presentaban los suelos ácidos y el % de arcilla ($r = 0,078$) no significativo, mientras que las correlaciones calculadas para el conjunto de todos los suelos, tanto ácidos como básicos, dieron valores significativos (0,572 **). A la vista de estos resultados cabe señalar que la importancia que se le ha dado a la arcilla como determinante de poder tampón de P en los últimos años, se debe a que los suelos tendrían carácter básico o bien se trataba de conjuntos de suelos de diferente pH.

Por lo que respecta a los suelos básicos ($\text{pH} > 7$) (fig. 2) presentan en general un poder tampón más elevado, el cual a su vez está determinado en gran parte por el tipo de uniones que ligan al P en dichos suelos, es decir, que de acuerdo a las ideas de Ellis y Truog (3) y Calvert (2) el P se haya unido a la arcilla a través de puentes de Ca, lo que hace que tanto los contenidos en arcilla que presentan los suelos como el tipo de éstas, determinen en gran parte su poder tampón.

Como ha sido demostrado por Ellis y Truog (3), a medida que aumenta la saturación de Ca en el complejo de cambio, aumenta la solubilidad del P, lo que explica la clara respuesta obtenida en estos suelos al aplicar los 400 volt. en las curvas de EUF, cuando se trata de suelos calizos. Sin embargo, cuando los contenidos en Ca del suelo son muy elevados, éstos pueden dar lugar a la formación de fosfatos de calcio que como consecuencia de un proceso de envejecimiento se transformaría en fosfato tricálcico o tetracálcico, compuestos muy estables y de muy baja solubilidad.

En la figura 2 podemos observar cómo aumenta el poder tampón a medida que los suelos presentan contenidos más elevados en arcilla, a diferencia de lo observado en los suelos ácidos. Parece ser, según Calvert (2), que el P queda retenido por las arcillas por simple acomodación de cargas en posiciones de superficie o de borde pero nunca interlaminar, de aquí el que el grado de saturación de la arcilla por el calcio, así como la densidad de cargas negativas libres que presentan las arcillas, sean factores determinantes del poder tampón de estos suelos.

Suelos pH básico

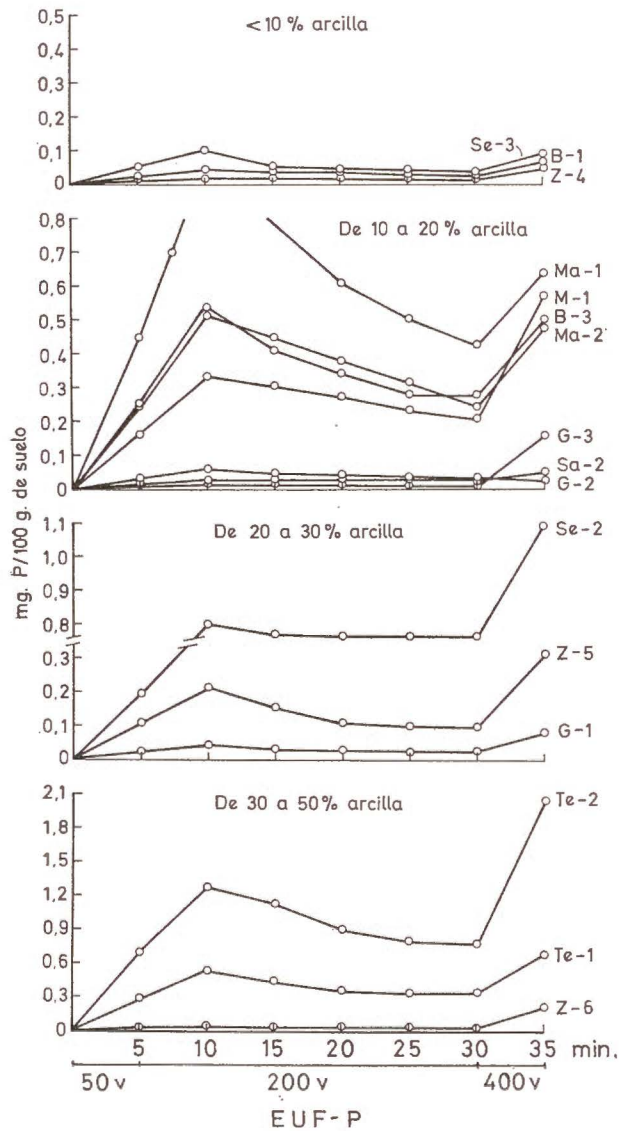


Fig 2

Los suelos básicos con menos del 10 por 100 de arcilla (Se-3, B-1, Z-4) presentan todos ellos un bajo poder tampón de P, al carecer prácticamente de arcilla, soporte fundamental del P en estos suelos.

En el grupo de suelos que contienen del 10 al 20 por 100 de arcilla todos ellos presentan un poder tampón elevado, a excepción de los suelos

Sa-2 y Ge-2, en los cuales vemos que el tipo de arcilla predominante es illita expandida y smectita respectivamente, las cuales presentan una elevada densidad de carga y por consiguiente gran poder fijador de P. Las illitas expandidas deben sus numerosas cargas negativas, al agotamiento del K interlaminaar y externo, mientras que en la smectita su elevada densidad de cargas negativas se debe a que presenta tetraedros en su estructura en lugar de octaedros.

El grupo de suelos cuyo contenido en arcilla oscila entre el 20 y el 30 por 100, presenta valores aceptables en su poder tampón, el cual va descendiendo por el siguiente orden de suelos: Se-2, Z-5 y G-1. Si ahora observamos el tipo de arcilla predominante en dichos suelos, veremos que se trata, por este mismo orden, de montmorillonita, illita saturada y smectita, en donde vemos que la smectita en el suelo G-1 nuevamente da lugar a la fijación de P.

Finalmente en el grupo de suelos con más del 30 por 100 de arcilla el Z-6 que presenta illita expandida es el que a su vez muestra un valor más bajo en su poder tampón.

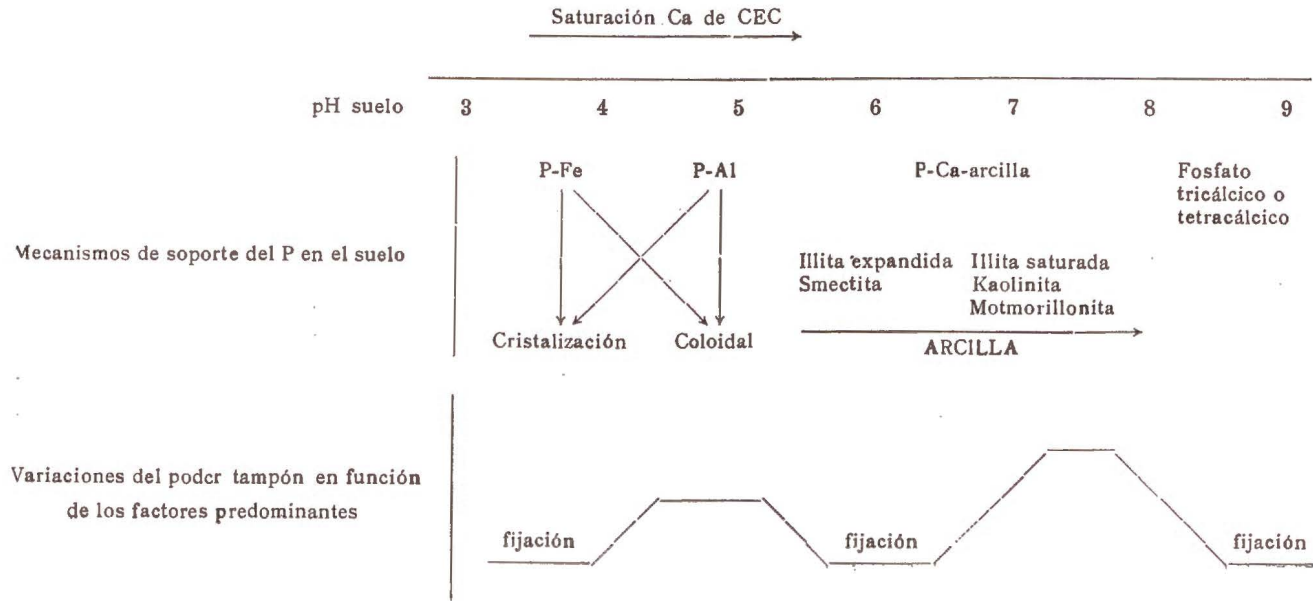
En suma, vemos que a partir de la simple observación de las gráficas de P-EUF, los suelos básicos con poca arcilla presentan un poder tampón de P bajo. A medida que aumenta su contenido en arcilla su poder tampón que en general debe ser elevado, queda limitado por el tipo de arcilla (smectita e illita expandida en alta fijación). Una buena prueba de que la arcilla juega un importante papel sobre el poder tampón de P en estos suelos, lo constituye el coeficiente de correlación obtenido entre dicho parámetro y el % de arcilla en los 18 suelos cuyo pH es mayor de 7 (0,643**), que comparado con el obtenido para los suelos ácidos (0,078) nos muestra la clara influencia que tiene la arcilla sobre el poder tampón de P en los suelos básicos.

Por lo que respecta a la influencia que el tipo de arcilla puede ejercer sobre el poder tampón de P en los suelos básicos, han sido calculadas dos correlaciones, una con los suelos que presentan smectitas o illitas expandidas predominantemente, cuyo coeficiente de correlación (0,541) no fue significativo, debido a su fuerte poder de fijación del P, y otro con los suelos que contienen predominantemente illitas saturadas, montmorillonitas o caolinitas, cuyo coeficiente de correlación (0,818**) fue altamente significativo. Lo que demuestra que las arcillas citadas en el último grupo, constituyen un soporte ideal para los grupos P-Ca como reservas de P en el suelo, desde el punto de vista de su asimilabilidad para las plantas.

Puede pues concluirse que en los suelos ácidos el componente arcilla no juega en la práctica ningún papel sobre el P, estando determinado el poder tampón por P-Al y P-Fe, dependiendo la asimilabilidad del grado de cristalización.

Por el contrario, en los suelos calizos la arcilla es de gran importancia como soporte de grupos P-Ca. La fuerza de unión entre P-Ca y la arcilla está determinada por la densidad de cargas negativas que presente esta última, lo que en algunos casos puede llegar a originar la fijación del P con mayor o menor intensidad. Por otra parte, a medida que

ESQUEMA DE LOS FACTORES QUE AFECTAN A LA CAPACIDAD TAMPÓN DE P EN EL SUELO



umenta el Ca en el complejo de cambio, se eleva la solubilidad del P, aumentando en general su poder tampón.

Como colofón, presentamos un esquema que reúne los diversos factores que determinan la capacidad tampón de P en el suelo, dependiendo de su mayor o menor predominancia.

RESUMEN

Se estudia el papel que juega la cantidad y tipo de arcilla, así como el Al y Fe cambiables, sobre la capacidad tampón de fósforo, en función del pH del suelo.

En los suelos ácidos, las reacciones del P están determinadas por el Al y Fe cambiables, así como por el grado de envejecimiento de sus cristales. La arcilla en dichos suelos carece de importancia, ya que se encuentra en gran parte cloritizada.

En los suelos básicos, el poder tampón de fósforo depende directamente del contenido en arcilla, si bien determinados tipos de arcilla, tales como illita expandida y smectita, se muestran claramente con propiedades fijadoras de fósforo.

Altos contenidos en Ca en el suelo, dan lugar a la formación de fosfatos tri y tetra-cálcicos de difícil solubilidad.

Instituto de Edafología y Biología Vegetal de Madrid, C. S. I. C.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) ANTHONY, S. R., BOYD, G. (1968). Chemical and physical properties of iron and aluminum phosphate and their relation to phosphorus availability. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 32, 216-221.
- (2) CALVERT, D. V., MASSEY, H. F., SEAY, W. A. (1960). The effect of exchangeable calcium on the retention of phosphorus by clay fractions of soils of the Memphis catena. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 24, 333-336.
- (3) ELLIS, R. J., TRUOG, E. (1955). Phosphate fixation by montmorillonite. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 19, 451-454.
- (4) HENWAL, J. B. (1957). The fixation of phosphorus by soils. *Adv. Agron.*, 9, 95-112.
- (5) HENWAL, J. B. (1957). The role of soil clay minerals in phosphorus fixation. *Soil Sci.*, 83, 101-106.
- (6) LOW, P. F., BLACK, C. A. (1950). Reactions of phosphate with kaolinite. *Soil Sci.*, 70, 273-290.
- (7) MULJADI, D., POSNER, A. M., QUIRK, J. P. (1966). The mechanism of phosphate adsorption by kaolinite, gibbsite, and pseudoboehmite. I. The isotherms and the effect of pH on adsorption. *J. Soil Sci.*, 17, 212-237.
- (8) NEMETH, K. (1972). The determination of desorption and solubility rates of nutrients in the soils by means of electroultrafiltration EUF. *Proc. 9th Coll. Int. Potash. Inst.*, 3-12.
- (9) NEMETH, K. (1977). Comunicación privada.
- (10) PA HO SU, RENNIE, D. A. (1962). Reactions of phosphate in Aluminum systems I. Adsorption of phosphate by X-ray amorphous Aluminum hydroxide. *Can. J. Soil Sci.*, 42, 197-209.
- (11) TANDON, H. L. S., KURTZ, L. T. (1968). Isotopic exchange characteristics of aluminum and iron bound fractions of soil phosphorus. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 32, 799-802.
- (12) WILD, A. (1953). The effect of exchangeable cations on the retention of phosphate by clay. *J. Soil Sci.*, 4, 72-85.

Recibido para publicación: 10-X-77

NUTRICION Y FISIOLOGIA VEGETAL

EFECTO DE LA INTERACCION NaCl-P SOBRE EL CONTENIDO FOLIAR DE Fe, Mn, Zn, Cu Y B EN PLANTAS

por

A. CERDA y F. T. BINGHAM

SUMMARY

INTERACTIVE EFFECT OF NaCl-P ON FOLIAR CONTENT OF Fe, Mn, Zn, Cu AND B IN PLANTS

Three solution culture experiments were carried out with sesame (*Sesamum indicum* L.) wheat (*Triticum aestivum* L.) and tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) grown to maturity to study the effect of differential combination of salinity and phosphorus on micronutrient uptake.

Salinity, in general, increased the leaf concentration of Fe, Mn, Zn, Cu, and B in all plants studied. However, the effect of phosphorus was more variable, being plant species and micronutrient dependent.

INTRODUCCIÓN

Los micronutrientes son necesarios para las plantas para el mantenimiento eficiente de las principales funciones fisiológicas: formación de clorofila, respiración, fotosíntesis, actividad de las auxinas y reacciones de oxidación reducción entre otras.

La absorción de micronutrientes del medio por las raíces de las plantas está influenciada por diversos factores tales como salinidad, pH, concentración de otros nutrientes, especie de planta e incluso por las distintas variedades de una misma especie.

Bains y Fireman (1964), al estudiar la interacción sodio de cambio-salinidad en cinco especies de plantas, indican que el sodio de cambio generalmente reduce la absorción de Fe, Mn, Cu, Zn y B y aumenta la de Mo.

Maas et al. (1972), en una experiencia de invernadero en disoluciones nutritivas, observaron que la salinidad de NaCl incrementaba las concentraciones foliares de Fe y Mn en tomate, calabaza y soja, mientras que la de Mn aumentaba en tomate y soja pero decrecía en calabaza.

Patel y Wallace (1975), al estudiar la interacción salinidad (NaCl + CaCl₂)-fertilización con fósforo en cultivos en arena, señalan que los contenidos foliares de Fe, Mn, Cu, Si, Mo y algunas veces los de Zn

son reducidos en plantas de tomate, maíz dulce y sudan-grass al aumentar la salinidad y la concentración de fósforo en el sustrato.

Wallace et al. (1969), en una experiencia en invernadero con plantas de *Franseria dumosa* en disoluciones nutritivas, señalan que al aumentar la concentración de fósforo en el medio nutriente disminuían los contenidos foliares de Mn, Zn, Cu y B mientras que aumentaban los de Fe.

Racz y Haluschak (1974) indican que en trigo los contenidos foliares de Fe, Zn y Cu decrecen cuando aumenta la concentración de fósforo en el medio nutriente, sin embargo la de Mn no se ve afectada.

Burleson et al. (1961), Brown y Tiffin (1962) y Spencer (1960) señalan que la reducida utilización de micronutrientes por las plantas en suelos con alto contenido en fósforo puede ser atribuida a la inmovilización de estos micronutrientes en el suelo por la precipitación con el fósforo añadido en los fertilizantes.

Sin embargo, Loneragan (1951) y Warnock (1970) indican que la interacción micronutrientes-fósforo es de naturaleza fisiológica, bien debido a un fenómeno de absorción en la superficie de las raíces o a una reducida translocación dentro de la planta.

En vista de las observaciones arriba indicadas, en algunos casos contradictorias, es necesaria más información acerca de la absorción de micronutrientes por diferentes especies de plantas bajo distintas condiciones de salinidad y fertilización con fósforo.

De aquí que el objetivo de este trabajo sea estudiar el efecto de la interacción (NaCl)-fósforo sobre la absorción de micronutrientes por diferentes especies de plantas.

MATERIAL Y MÉTODOS

Tres especies diferentes de plantas, sésamo (*Sesamum indicum* L.), trigo (*Triticum aestivum* L.) y tomate (*Lycopersicum esculentum* L.) fueron cultivadas independiente y sucesivamente desde agosto de 1975 a enero de 1977 en depósitos cilíndricos de 100 litros de capacidad en un invernadero provisto de control de temperatura. Los depósitos estaban dotados de un sistema de aireación permanente y fueron llenados con una disolución nutritiva de la siguiente composición: Ca, 180 ppm; K, 234 ppm; Mg, 48 ppm; NO₃, 744 ppm; SO₄, 192 ppm; Fe añadido como FeEDTA, 5 ppm; B, 0,5; Cu, 0,05; Mo, 0,01 y Zn, 0,05 ppm, respectivamente.

En la experiencia con sésamo se utilizaron dos variedades, una de ciclo corto, «Selección 333», y otra de ciclo largo, «Aceitera», que necesitaron tres y cuatro meses respectivamente en alcanzar la completa madurez de las vainas. En la de trigo fueron ensayadas las variedades mejicanas «Inia 66» y «Cajeme 71», tardando las espigas en alcanzar la madurez unos cuatro y cinco meses respectivamente. Por último en la de tomate fue ensayada la variedad de mata baja, «VF-145-B-7879», la cual no necesitaba encañado y por lo tanto es interesante desde el punto de vista de una posible recogida mecánica. Los frutos de esta variedad alcanzaban la madurez en unos tres meses.

En las experiencias de sésamo y trigo los tratamientos diferenciales

fueron los mismos, consistiendo en 4 niveles de fósforo (0,5, 5,0, 25,0 y 50,0 ppm añadido como KH_2PO_4) en combinación factorial con 4 niveles de NaCl produciendo unos potenciales osmóticos de -0,4, -1,4, -2,4 y -4,4 bars. En total resultaban 16 tratamientos diferentes. En la experiencia con tomates los niveles de fósforo fueron 3 (0,5, 5,0 y 50,0 ppm) combinados factorialmente con 4 de NaCl (-0,8, -2,4, -4,4 y -6,4 bars), resultando 12 tratamientos distintos. En todas las experiencias los tratamientos individuales fueron repetidos tres veces. Se suponía que 24 meq/l de NaCl producían un potencial osmótico de -1,0 bars.

En cada experiencia las semillas fueron germinadas en cajas llenas de arena previamente lavada, transplantándose a los depósitos con disoluciones nutritivas entre los cinco y diez días después de germinar. Cada tratamiento contenía dos plantitas de cada variedad.

En todas las experiencias las disoluciones nutritivas no fueron salinizadas hasta unos quince días después del trasplante. El NaCl fue añadido en incrementos diarios de -1,0 bars para permitir a las plantas el ajuste osmótico, quedando establecidos los niveles salinos diferenciales al sexto día de iniciada la salinización. El fósforo fue añadido de una vez antes del trasplante. El volumen de las disoluciones se mantenía constante durante las experiencias por adición diaria de agua desmineralizada, y se controlaba la constancia de los niveles salinos mediante medidas periódicas de los potenciales osmóticos.

Las concentraciones de fósforo en las disoluciones se analizaban semanalmente, mientras que los otros nutrientes se analizaron tres veces en cada experiencia. Después de cada análisis se añadían las cantidades necesarias de cada nutriente para mantener las concentraciones iniciales. El pH fue mantenido entre 5,5 y 6,5 por adición de KOH o H_2SO_4 .

En cada experiencia se tomaron muestras de hojas al comienzo de la floración en sésamo, en la aparición de las espigas en trigo y en el cuaje de los frutos en tomate. Estas muestras de hojas se secaron a 70° C durante cuarenta y ocho horas, después se molieron en un molino Wiley y se guardaron en botellas de vidrio para posterior análisis químico. La digestión de la materia vegetal se hizo por vía húmeda, añadiendo 1 ml de una mezcla nítrico-perclórica (2:1) a 100 mg de material vegetal y calentando suavemente hasta que la mezcla quedaba incolora. Entonces se diluía con agua desionizada hasta un volumen de 25 ml. De esta disolución se tomaban las muestras para los correspondientes análisis. El B se analizó colorimétricamente por el método del Carmín según Hatcher y Wilcox (1950). El Fe, Mn y Zn se determinaron por espectrofotometría de absorción atómica. El Cu se midió utilizando un equipo de espectrofotometría de absorción atómica sin llama dotado de un corrector de deuterio.

RESULTADOS

En las tablas de la I a la V se presentan los contenidos foliares medios de Fe, Mn, Zn, Cu y B respectivamente, para cada nivel salino y de fósforo en sésamo, tomate y trigo, con el correspondiente análisis de la varianza.

Hierro

La salinidad en general aumentaba las concentraciones foliares de Fe en tomate y en trigo, sin embargo en sésamo aumentaba hasta el nivel salino de — 2,4 bars, decreciendo abruptamente al aumentar la salinidad a — 4,4 bars. Mientras que los contenidos foliares de Fe eran similares en las dos variedades de sésamo, sin embargo las concentraciones de la variedad Cajeme 71 eran casi el doble de las de Inia 66 a todos los niveles salinos.

TABLA I

Concentraciones de Fe en hojas de tomate, trigo y sésamo en relación con los niveles salinos y de fósforo en el medio nutriente (1)

Nivel salino (bars)	Tomate	Trigo		Sésamo	
	VF - 14-5 B-787g	Inia	Cajeme	Aceitera	Selección 3
			ppm		
— 0.4		95 a	196 a	171 ab	175 b
— 0.8	175 a				
— 1.4		105 ab	186 a	163 ab	183 ba
— 2.4	174 a	110 ab	214 a	185 a	194 a
— 4.4	176 a	126 b	221 a	154 b	129 c
— 6.4	192 a				
Pmg/1					
0.5	198 a	109 a	223 a	158 a	171 b
5.0	178 b	110 a	195 a	190 b	198 a
25.0		112 a	208 a	171 ab	150 c
50.0	162 b	107 a	190 a	154 a	163 bc

Análisis de la varianza (2)

Nivel salino.....	NS	**	NS	*	***
Nivel de fósforo	*	NS	NS	*	***
Salinidad-fósforo ...	NS	NS	NS	NS	***

(1) Examinando independientemente los niveles salino y de P, los valores que dentro de una misma columna no tengan una letra en común difieren significativamente al nivel del 5 % según el Test de Duncan.

(2) ***, ** y * indican un efecto significativo a P = 0,1, 1 y 5 % respectivamente. NS indica que no es significativo al 5 %.

El efecto de los niveles de fósforo sobre los contenidos foliares de Fe era bastante variable. En tomate estos contenidos decrecían al

aumentar el nivel de fósforo en la disolución, mientras que en sésamo las máximas concentraciones fueron obtenidas con 5 mg P/l, decreciendo al aumentar el nivel de P a 25 ó 50 mg/l. En trigo, los contenidos de Fe de la variedad Inia 66 prácticamente no fueron afectados por los niveles de fósforo.

T A B L A I I

Concentraciones de Mn en hojas de tomate, trigo y sésamo en relación con los niveles salinos y de fósforo en el medio nutriente (1)

Nivel salino (bars)	Tomate	Trigo		Sésamo	
	VF - 145 - B - 7879	Inia	Cajeme	Aceitera	Selección 333
			ppm		
- 0.4		598 a	75 a	152 a	144 a
- 0.8	161 a				
- 1.4		596 a	91 a	181 b	148 a
- 2.4	177 a	633 a	166 a	179 b	158 a
- 6.4	198 a				
Pmg/1					
0.5	190 a	429 a	215 a	129 a	123 a
5.0	168 a	581 b	154 a	204 b	190 b
25.0		758 c	306 a	192 b	156 c
50.0	184 a	823 c	202 a	169 c	154 c

Análisis de la varianza (2)

Nivel salino.....	NS	***	***	**	*
Nivel de fósforo	NS	***	NS	***	***
Salinidad-fósforo ...	NS	NS	NS	**	NS

(1) Examinando independientemente los niveles salino y de P, los valores que dentro de una misma columna no tengan una letra en común difieren significativamente al nivel del 5 % según el Test de Duncan.

(2) ***, ** y * indican un efecto significativo a P = 0,1, 1 y 5 % respectivamente. NS indica que no es significativo al 5 %.

Manganeso

Los contenidos foliares de Mn aumentaban regularmente con el nivel salino en todas las especies y variedades ensayadas. Sin embargo destaca notablemente la variedad de trigo Inia 66 por su gran capacidad de absorción de Mn a todos los niveles salinos, igualmente que la variedad Cajeme 71 al nivel salino de - 4,4 bars. Es también de destacar

el antagonismo Fe-Mn entre estas dos variedades de trigo, pues mientras que la variedad Cajeme 71 doblaba a la Inia 66 en la absorción de Fe, en el caso del Mn ocurría lo contrario. Los contenidos foliares de Mn en tomate y sésamo eran similares y estaban dentro de los rangos considerados como normales.

El efecto del P sobre los contenidos foliares de Mn en las diferentes especies es más irregular, así mientras que aumenta significativamente en la variedad Inia 66 no era afectado en la variedad Cajeme 71. En las dos variedades de sésamo las concentraciones de Mn aumentaban hasta el nivel de 5 mg P/l, decreciendo en los dos niveles más altos. En tomate sin embargo decrecía al aumentar el nivel de P en el sustrato.

TABLA III

Concentraciones de Zn en hojas de tomate, trigo y sésamo en relación con los niveles salinos y de fósforo en el medio nutriente (1)

Nivel salino (bars)	Tomate	Trigo		Sésamo	
	VF-145-B-7879	Inia	Cajeme	Aceitera	Selección 333
			ppm		
- 0.4		76 a	55 a	37 a	49 a
- 0.8	31 a				
- 1.4		69 a	56 a	42 a	54 a
- 2.4	35 a	67 a	61 a	51 b	54 a
- 4.4	52 b	103 b	76 b	68 c	72 b
- 6.4	74 c				
Pmg/l					
0.5	49 a	45 a	61 a	43 a	51 a
5.0	47 a	64 b	56 b	51 b	63 b
25.0		82 c	66 a	50 ab	54 a
50.0	49 a	125 d	66 a	54 b	60 ab

Análisis de la varianza (2)

Nivel salino.....	*0*	***	***	***	***
Nivel de fósforo ...	NS	***	NS	*	*
Salinidad-fósforo ...	NS	**	NS	NS	NS

(1) Examinando independientemente los niveles salino y de P, los valores que dentro de una misma columna no tengan una letra en común difieren significativamente al nivel del 5 % según el Test de Duncan.

(2) ***, ** y * indican un efecto significativo a P = 0,1, 1 y 5 % respectivamente. NS indica que no es significativo al 5 %.

Cinc

Los niveles salinos aumentaban significativamente las concentraciones de Zn en tomate, trigo y sésamo. Por el contrario, los niveles de P afectaban de un modo menos consistente dichos contenidos. Los contenidos de Zn en tomate y trigo de la variedad Cajeme 71 no eran afectados por los tratamientos de P. Sin embargo en las dos variedades de sésamo aumentaban ligeramente al aumentar el nivel de P en el substrato y en la variedad de trigo Inia 66 estos incrementos eran proporcionales a los de P en el medio nutriente. Mientras que los contenidos de Zn en tomate y sésamo eran similares a los de la variedad Cajeme 71, la Inia 66 tenía concentraciones notablemente más altas, particularmente en los niveles más elevados de salinidad y P.

TABLA IV

Concentraciones de Cu en hojas de tomate, trigo y sésamo en relación con los niveles salinos y de fósforo en el medio nutriente (1)

Nivel salino (bars)	Tomate		Trigo		Sésamo	
	VF - 145-B-7879	Inia	Cajeme	Aceitera	Selección 333	
			ppm			
- 0.4		24 a	18 a	9 a	5 a	
- 0.8	18 a					
- 1.4		26 a	21 b	10 a	7 b	
- 2.4	19 a	22 a	18 a	10 a	9 c	
- 4.4	25 b	32 a	16 a	9 a	7 b	
- 6.4	30 c					
Pmg/1						
0.5	23 a	20 a	15 a	10 ab	10 a	
5.0	21 a	23 a	18 a	11 a	8 b	
25.0		26 a	17 a	9 bc	5 c	
50.0	24 a	34 b	24 b	8 c	4 c	

Análisis de la varianza (2)

Nivel salino.....	***	NS	**	NS	***
Nivel de fósforo ...	NS	**	***	**	***
Salinidad-fósforo ...	NS	NS	***	NS	NS

(1) Examinando independientemente los niveles salino y de P, los valores que dentro de una misma columna no tengan una letra en común difieren significativamente al nivel del 5 % según el Test de Duncan.

(2) ***, ** y * indican un efecto significativo a P = 0,1, 1 y 5 % respectivamente. NS indica que no es significativo al 5 %.

Cobre

Las concentraciones de Cu en la variedad de trigo Cajeme 71 y en la de sésamo Aceitera no eran afectadas por la salinidad. Sin embargo en tomate, en la variedad de trigo Inia 66 y de sésamo Selección 333 los contenidos de Cu aumentaban con el nivel de salinidad. Los tratamientos de P incrementaban los contenidos de Cu en las dos variedades de trigo, disminuían en las de sésamo y no afectaban a los de tomate. Es de destacar los contenidos de Cu notablemente inferiores en sésamo comparados con los de trigo o tomate.

TABLA V

Concentraciones de B en hojas de tomate, trigo y sésamo en relación con los niveles salinos y de fósforo en el medio nutriente (1)

Nivel salino (bars)	Tomate	Trigo		Sésamo	
	VF - 145 - B - 7879	Inia	Cajeme	Aceitera	Selección 333
			ppm		
- 0.4		100 a	123 b	81 a	62 a
- 0.8	88 a				
- 1.4		88 a	142 a	71 a	63 a
- 2.4	96 ab	103 a	119 b	82 a	118 b
- 4.4	100 bc	83 a	100 c	106 b	141 c
- 6.4	108 c				
Pmg/1					
0.5	101 a	105 a	124 a	90 a	82 a
5.0	100 a	93 a	117 a	81 a	91 a
25.0		94 a	124 a	80 a	104 a
50.0	94 a	83 a	120 a	88 a	109 a

Análisis de la varianza (2)

Nivel salino.....	***	NS	***	***	***
Nivel de fósforo	NS	NS	NS	NS	NS
Salinidad-fósforo ...	NS	NS	*	NS	NS

(1) Examinando independientemente los niveles salino y de P, los valores que dentro de una misma columna no tengan una letra en común difieren significativamente al nivel del 5 % según el Test de Duncan.

(2) ***, ** y * indican un efecto significativo a P = 0,1, 1 y 5 % respectivamente. NS indica que no es significativo al 5 %.

Boro

La salinidad afectaba de una manera variable a los contenidos de B en tomate, trigo y sésamo. Las concentraciones de B en tomate y sésamo aumentaban con los niveles salinos, mientras que en trigo disminuía. Los niveles de P no afectaban a los contenidos de B en la variedad de trigo Cajeme 71 y en la de sésamo Aceitera, sin embargo disminuía en tomate y en la variedad de trigo Inia 66 y aumentaban en la de sésamo Selección 333 al incrementar la concentración de P en el medio nutriente. Los contenidos de B en todas las especies eran similares.

DISCUSIÓN

Aunque la composición foliar de tomate, trigo y sésamo se altera por la interacción salinidad-nivel de P en el substrato, los resultados de esta experiencia, en general, no indican un efecto drástico de los tratamientos sobre los contenidos de Fe, Mn, Zn, Cu y B de las especies cultivadas en soluciones nutritivas. Estas variaciones no pueden considerarse como factores limitantes de los rendimientos, pues si exceptuamos los contenidos de Mn y Cu en la variedad de trigo Inia 66, los de Mn en el nivel salino más alto en la variedad Cajeme 71 y los de Cu en los dos últimos niveles salinos en tomate, valores que pueden considerarse dentro del rango de toxicidad (aunque no fue observado ningún síntoma visual de toxicidad o deficiencia de estos micronutrientes durante el desarrollo de las experiencias), todos los demás valores se hallan dentro de los límites considerados como normales por Jones (1972).

En general la salinidad de NaCl tiende a aumentar la concentración foliar de los micronutrientes, mientras que el efecto de P es más variable. Esta respuesta de los micronutrientes a la salinidad está de acuerdo con los resultados encontrados por Maas et al. (1972) en tomate, soja y calabaza, sin embargo no coinciden con los señalados por Patel y Wallace (1975) en tomate, maíz dulce y sudán-grass, probablemente debido a que estos últimos investigadores utilizaron una mezcla de NaCl + CaCl₂ para salinizar el substrato, con lo que el nivel de Ca aumentaba lógicamente con el nivel salino. Wallace et al. (1971) indicaron que una de las principales funciones del Ca es prevenir una absorción excesiva de metales pesados. Moore et al. (1961) también sugieren que el Ca puede alterar las propiedades selectivas de la superficie de las membranas de las células, con lo cual puede decrecer la absorción de iones.

El efecto del P fue más complejo y estuvo ligado a la especie de planta y al micronutriente en cuestión. En tomate en general el P disminuía o no afectaba la concentración de los micronutrientes. Sin embargo en trigo a excepción del B que disminuía en la variedad Inia 66, los demás micronutrientes aumentaban con el nivel de P en el substrato. En sésamo el efecto era más complejo, pues mientras el Fe y Mn aumentaban hasta una concentración de 5 mg P/l en el substrato para decrecer con posteriores adiciones, el Zn aumentaba al aumentar el P en el medio,

el Cu decrecía, mientras el B aumentaba en la variedad Selección 333 y no era afectado en la variedad Aceitera.

Patel y Wallace (1975), también encontraron que el efecto del P era independiente de la especie de planta, así, en tomate prácticamente disminuía la concentración de todos los micronutrientes al aumentar la concentración de P en el sustrato, resultados que coinciden con los hallados en estas experiencias. Sin embargo en maíz dulce el Fe, Mn, Cu y B aumentaban con el nivel de P, mientras que el Zn disminuía. En sudán-grass Zn, Cu y Mn aumentaban con la concentración de P en el medio, mientras que el Fe y B no eran afectados. Raczy y Haluschak (1974) señalan que el Fe, Zn y Cu decrecían, mientras el Mn no era afectado en plantas de trigo al aumentar la concentración de P en el sustrato.

Sin embargo, es posible que las variaciones observadas en las concentraciones de micronutrientes debidas a los efectos de los tratamientos fueran originadas por las variaciones en rendimiento vegetativo producidas por la salinidad y la fertilización con P. De aquí, que se calculara la absorción de micronutrientes (concentración foliar \times rendimiento de materia seca), datos no presentados, con objeto de comprobar si los efectos de los tratamientos sobre absorción tenían el mismo sentido que sobre las concentraciones. En general la salinidad tendía a reducir la absorción de micronutrientes, de aquí que el aumento de concentración encontrado para la mayoría de los elementos, al menos en parte, sea debido a la reducción en rendimiento producida por la salinidad. La absorción de micronutrientes en general aumentaba con la concentración de P en el sustrato, excepto cuando el P era factor limitante de los rendimientos como ocurría para concentraciones de P mayores de 5 mg P/l en la variedad de trigo Inia 66 y en la de sésamo Selección 333. De aquí que la disminución en concentraciones debidas al P puede considerarse más bien un efecto de dilución al aumentar los rendimientos. Raczy y Haluschak (1974) también observaron este efecto de dilución en trigo al aumentar los niveles de P en el medio nutriente. Langdale y Thomas (1975) también señalan este efecto de dilución sobre micronutrientes, excepto en Fe, al aumentar la concentración de nitrógeno en el sustrato.

Los resultados de este estudio muestran que el efecto de la interacción salinidad-nivel de P sobre la absorción de micronutrientes por la parte aérea de las plantas, es más de naturaleza fisiológica que de inmovilización del micronutriente en el sustrato, resultados que coinciden con los señalados por Loneragan (1951) y Warnock (1970). En conclusión puede afirmarse que el contenido de micronutrientes en plantas depende de la concentración de sales y fertilizante en el sustrato, del micronutriente en particular y de las características fisiológicas de cada especie vegetal.

Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento a los Dres. Fernández y Caro del Departamento de Fertilidad de Suelos y Nutrición Vegetal del C. E. B. A. S. por la revisión crítica de este trabajo.

RESUMEN

En tres experiencias en disoluciones nutritivas utilizando plantas de sésamo (*Sesamum indicum* L.), trigo (*Triticum aestivum* L.) y tomate (*Lycopersicon esculentum* L.) respectivamente, se estudia el efecto de tratamientos diferenciales salinidad-fósforo sobre la absorción de micronutrientes por las plantas.

La salinidad, en general, incrementa las concentraciones foliares de Fe, Mn, Zn, Cu y B en todas las especies de plantas estudiadas. Sin embargo el efecto del fósforo es más irregular, dependiendo de la especie de planta y del micronutriente en cuestión.

Departamento de Fertilidad de Suelos y Nutrición Vegetal
(C. E. B. A. S.) Murcia.
Department of Soil and Environmental Sciences.
University of California. Riverside.

BIBLIOGRAFÍA

- BAINS, S. S., FIREMAN, M. (1964). Effect of exchangeable sodium percentage on the growth and absorption of essential nutrients and sodium by five crop plants. *Agron. J.*, 56, 432-435.
- BROWN, J. C., TIFFIN, L. O. (1962). Zinc deficiency and iron chlorosis dependent on the plant species and nutrient element balance in Tulare clay. *Agron. J.*, 54, 356-358.
- BURLESON, C. H., DACUS, A. D., GERARD, C. J. (1961). The effect of phosphorus fertilization on the zinc nutrition of several irrigated crops. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 25, 365-368.
- HATCHER, J. T., WILCOX, L. V. (1950). Colorimetric determination of boron using carmine. *Analytical Chem.*, 22, 567-569.
- JONES, J. B. JR. (1972). Plant tissue Analysis for Micronutrients. In *Micronutrients in Agriculture*, 319-346. SSSA, Inc. Madison, Wisconsin, USA.
- LANGDALE, G. W., THOMAS, J. R. (1975). Salinity and Nitrogen Fertilizer Interaction. Effects on Micronutrient Content of Spinach. *J. Rio Grande Valley Hort. Soc.*, 29, 81-89.
- LONERAGAN, J. F. (1951). The effect of applied phosphate on the uptake of zinc by flax. *Aust. J. Sci. Res.*, 4 B, 108-114.
- MAAS, E. V., OGATA, F., GARBER, M. J. (1972). Influence of salinity on the uptake of Fe, Mn and Zn by plants. *Agron. J.*, 64, 793-795.
- MOORE, D. P., OVERSTREET, R., JACOBSON, L. (1961). Uptake of magnesium and its interactions with calcium in excised barley roots. *Pl. Physiol.*, 36, 290-295.
- PATEL, P., WALLACE, A. (1975). Effect of mixed salinity and P fertility on yield and microelement composition of tomato, sweet corn and sudan grass grown in sand culture. *Indian J. Agron.*, 20 (1), 29-34.
- RACZ, G. J., HALUSCHAK, P. W. (1973). Effects of phosphorus concentration on Cu, Zn, Fe and Mn utilization by wheat. *Can. J. Soil. Sci.*, 54, 357-367.
- SPENCER, W. F. (1960). Effects of heavy applications of phosphate and lime on nutrient uptake, growth, freeze injury and root distribution of grapefruit trees. *Soil Sci.*, 89, 311-318.
- WALLACE, A., ROMNEY, E. M., MUELLER, R. T. (1969). Effect of the phosphorus level on the micronutrient content of *Fraseria dumosa*. *Phyton*, 26, 151-154.
- WALLACE, A., ABOU-ZAMZAM, A. M., ALEXANDER, G., BRINKERHOFF, F., CARMACK, C. R., EL GAZZAR, A., FROLICH, E. F., HALE, V. Q., JOREN, C., HSICH, H., MOTOMYAMA, E., MUELLER, R. T., TOMNEY, E. M., SOUFI, S. M. (1971). Calcium and chelating agent regulation of mineral element composition of bush beans grown in solution culture, 69-81. In A. Wallace, ed. and publisher, *Regulation of the Micronutrient Status of Plants by Chelating Agents and Other Factors*. Los Angeles, California.
- WARNOCK, R. E. (1970). Micronutrient uptake and mobility within corn plants (*Zea mays* L.) in relation to phosphorus-induced zinc deficiency. *Soil Sci Soc. Amer. Proc.*, 34, 765-769.

CRECIMIENTO Y METABOLISMO NITROGENADO EN PLANTAS DE *NICOTIANA RUSTICA* L. IRRADIADAS CON UV CERCANO

I. CARACTERES VEGETATIVOS Y AMINOACIDOS

por

M.^a T. PIÑOL, J. BARCELO y C. MORALES

SUMMARY

GROWTH AND NITROGEN METABOLISM OF *NICOTIANA RUSTICA* L. PLANTS BY NEAR-UV IRRADIATED. I. VEGETATIVE CHARACTERS AND AMINOACIDS

The influence of near-UV radiation (350 nm) on the growth and proteic amino acids in *Nicotiana rustica* L. has been study.

The low used dose of near-UV radiation act as a stimulus of flowering and fructification, while the high used dose causes a moderate delay of these processes as well as an increase in the dry weight of leaves and stem.

Generally, the near-UV radiation increase the contents of free and proteic amino acids, the high dose in leaves and root and the low dose in flowers and fruits.

El curso de crecimiento de *Nicotiana* es de tipo sigmoideo, como sucede normalmente en las plantas y en sus órganos aislados, y su ciclo ontogénico se desarrolla en unos cinco meses de primavera-verano.

La proporción de los aminoácidos proteicos en estado libre y de algunas o varias proteínas de *Nicotiana* depende fundamentalmente de la especie y/o variedad, y también de su estado vegetativo, de las condiciones ambientales y nutritivas en que se desarrolla, y de cualquier desorden fisiológico o estado patológico, e incluso de la hora del día (3, 30, 10, 22, 28, 44, 35, 4, 27, 29, 39, 37, 38, 18, 42, 40, 14, 16).

Se ha estudiado el efecto de la irradiación UV cercana sobre el curso de desarrollo y el metabolismo de los aminoácidos proteicos en plantas de *Nicotiana rustica* L., cultivadas bajo las condiciones normales de un invernadero. Las radiaciones UV cercanas (300-400 nm) están comprendidas en la zona denominada fotobiológica, y cuando proceden de la luz solar llegan a la superficie terrestre poco modificadas (41). Estas radiaciones son absorbidas en alta proporción (82-92 por 100) por las hojas intactas (32, 8, 9), por fotorreceptores impor-

tantes (23, 8, 12, 33, 21, 19, 5, 7), y ejercen efectos, frecuentemente de estímulo, sobre el crecimiento y el metabolismo de las plantas (36, 23, 11, 9, 43, 31, 20, 2, 6, 13, 15).

MATERIAL Y MÉTODOS

El período del ciclo vegetativo estudiado comprende desde veinte días antes de que aparezcan los primeros vestigios de inflorescencia hasta el estado de frutos, en mayor o menor grado de maduración, según la dosis de irradiación dada.

La siembra se efectuó en cuatro jardineras, el 21 de febrero de 1971; una se dejó como control y las otras tres se irradiaron, desde el primer día de la siembra, durante uno, cinco y diez minutos, respectivamente. Las semillas germinaron a los once días de sembradas, y las plantas se transplantaron a macetas treinta y cuatro días después. Los cultivos se regaron con agua y con solución nutritiva de Arnott y Hoagland (1).

La irradiación se efectuó con 8 tubos Philips «TL», situados en un plafón, que emiten en las longitudes de onda de 300-400 nm, con el máximo en 350 nm, una energía teórica de 373.12×10^7 ergios por segundo, aunque en la práctica es menor.

Cada siete días se tomó una muestra, durante el período comprendido desde unos veinte días antes de aparecer los primeros vestigios de inflorescencia hasta el estado de frutos maduros. Seguidamente de extraídas las plantas, se separan sus órganos, y se limpian, miden y pesan. Se sumergen los órganos, por separado, en alcohol de 80 por 100 hirviendo. Se homogeneizan en un «Omni-mixer» (Sorval), manteniendo el recipiente de homogeneización sumergido en un baño a -20° C. Se llevan los homogeneizados a volumen conocido, y en fracciones de ellos se efectúan las determinaciones analíticas.

El peso seco se determina por desecación, en una estufa a 105° , de un volumen determinado de homogeneizado, hasta peso constante.

La determinación de los aminoácidos se ha efectuado por cambio iónico, según Stein y Moore (24, 34), en un cromatógrafo líquido Hitachi Perkin-Elmer mod. 034 (17, 25, 26). Se toman 25 ml de homogeneizado y se centrifugan a 17.000 rpm; se lava el residuo (A) con alcohol de 80 por 100 y se vuelve a centrifugar. Se reúnen los sobrenadantes, se despigmentan por reiterados lavados con éter de petróleo, y el líquido hidroalcohólico resultante, que contiene los aminoácidos libres, se evapora a sequedad en vacío; el residuo seco (B) así obtenido se disuelve en tampón de citrato sódico de pH 2,2, y en esta solución se efectúa el análisis de los aminoácidos, en el autoanalizador. El residuo (A) se hidroliza con CIH 6 N, en una proporción proteína: CIH 6 N de 1:500, en un frasco que contiene 1 g de Cl_2Sn y en el que el aire ha sido sustituido por N_2 . Se cierra herméticamente el repiente de hidrólisis y se deja veinticuatro horas a 100° C; el hidrolizado se evapora a sequedad en un rotavapor Büchi, en vacío, se disuelve en tampón de citrato sódico a pH 2,2 y se filtra; para el análisis de los aminoácidos proteicos se procede igual que para los libres.

RESULTADOS Y SU INTERPRETACIÓN

Caracteres vegetativos

La floración y la fructificación se adelantan ligeramente en las plantas irradiadas un minuto y se retrasan, también ligeramente, en las irradiadas diez minutos diarios. En conjunto, el peso seco de la inflorescencia e infructescencia es mayor en las plantas irradiadas un minuto y menor en las expuestas cinco y diez minutos, que en las control. La

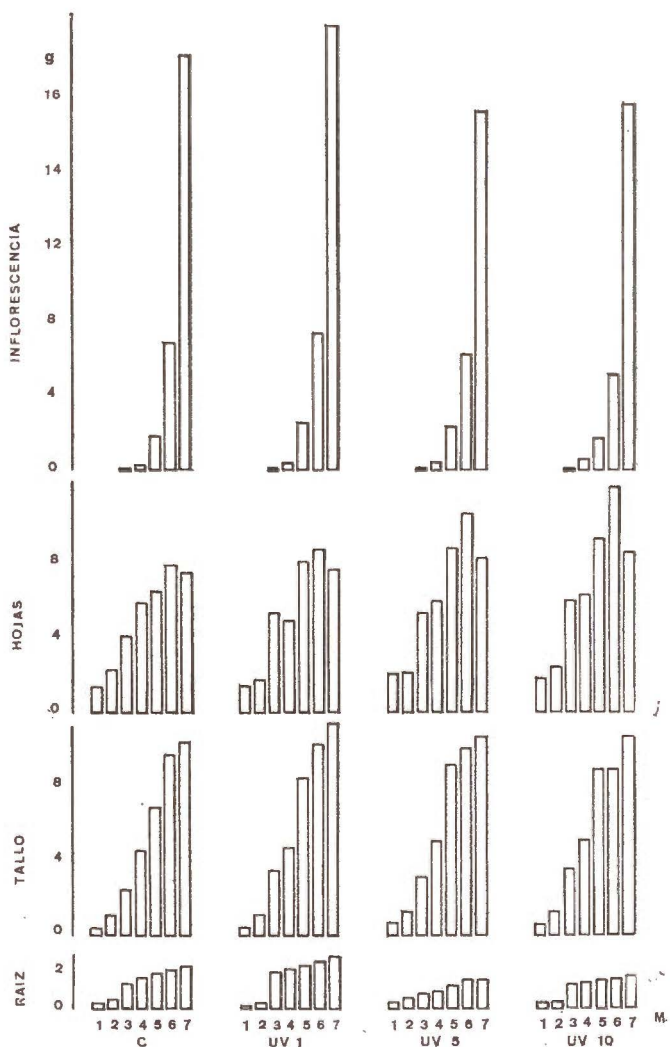


Fig. 1.—Peso seco expresado en gramos (g) de los órganos de la planta. M = muestras.

inflorescencia es la parte de la planta que ha recibido la irradiación más directamente y en mayor proporción, y por ello también la que ha acusado de modo más ostensible sus efectos: estímulo por los tiempos cortos de irradiación y retardo por los más prolongados (fig. 1).

La irradiación no ha afectado al número de hojas, pero su superficie y su peso son mayores en las plantas irradiadas cinco y diez minutos que en las control (fig. 1). La irradiación con las dosis altas ha estimulado el crecimiento de la hoja, debido quizá al retardo que ha ocasionado en el desarrollo de la inflorescencia-infructescencia, aunque esta hipótesis sólo parece válida para las plantas irradiadas diez minutos, pero no para las expuestas cinco minutos, que no han experimentado el indicado retardo.

El tallo de las plantas irradiadas diez minutos es aparentemente algo más largo en las primeras muestras, y algo más corto y pesado después (figura 1), lo que indica que es más robusto.

El peso de la raíz, en su conjunto y dentro de la incertidumbre que siempre entraña su estudio, cuando crece en tierra, a causa de la imposibilidad de extraerla entera e indemne, parece ser algo mayor en las plantas irradiadas con las dosis bajas y menor en las que recibieron las dosis altas, que en las control. Esta diferencia podría ser debida a que en las plantas irradiadas con la dosis alta las hojas son mayores y los tallos más robustos, y por ello requieren mayor cantidad de material elaborado, en detrimento de la raíz, que lógicamente crece menos (fig. 1).

Aminoácidos

La mayoría de los aminoácidos en estado proteico, referidos a las hojas de una planta y a porcentaje de peso seco de hoja, aumentan en las hojas control durante el período de preinflorescencia y en las irradiadas, a veces, hasta que la planta alcanza el estado de primeras flores (figura 2), mientras que son pocos los aminoácidos, precisamente los básicos (*arg, lis e his*), que disminuyen. Se podría concluir que en las hojas se ha producido, durante el período indicado, síntesis proteica, con pérdida de basicidad, y que además en las irradiadas se ha retrasado algo el curso formador de proteína. Durante el período de fructificación de la planta se observa, con cierta frecuencia en las hojas irradiadas diez minutos y menos frecuentemente en las irradiadas cinco minutos, un «cambio» o «retardo» en el curso de los aminoácidos en estado proteico: durante el período de fructificación aumentan en las hojas control, y seguidamente disminuyen y por último aumentan de nuevo, mientras que en las irradiadas, particularmente en las expuestas diez minutos, el curso es aproximadamente inverso (fig. 2). Un curso parecido se puede observar en varios de los aminoácidos en estado libre. El indicado «cambio» o «retardo» en el curso de los aminoácidos en estado proteico y/o libre puede ser una consecuencia natural de la demora ocasionada por la irradiación con UV cercano en el proceso de floración-fructificación, y en definitiva en el ciclo de desarrollo de la planta, o bien debido a un efecto directo.

En las hojas, los valores de los aminoácidos en estado proteico, con-

siderados en su conjunto, revelan, prácticamente todos ellos, un estímulo vinculado al crecimiento, y sólo los aminoácidos *glu*, *pro* y *fen* un estímulo poco acusado independiente del crecimiento (figs. 3a, 3b y 3c).

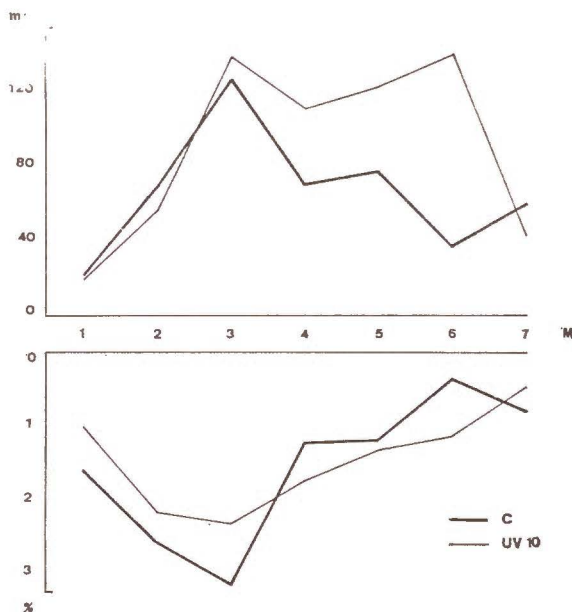
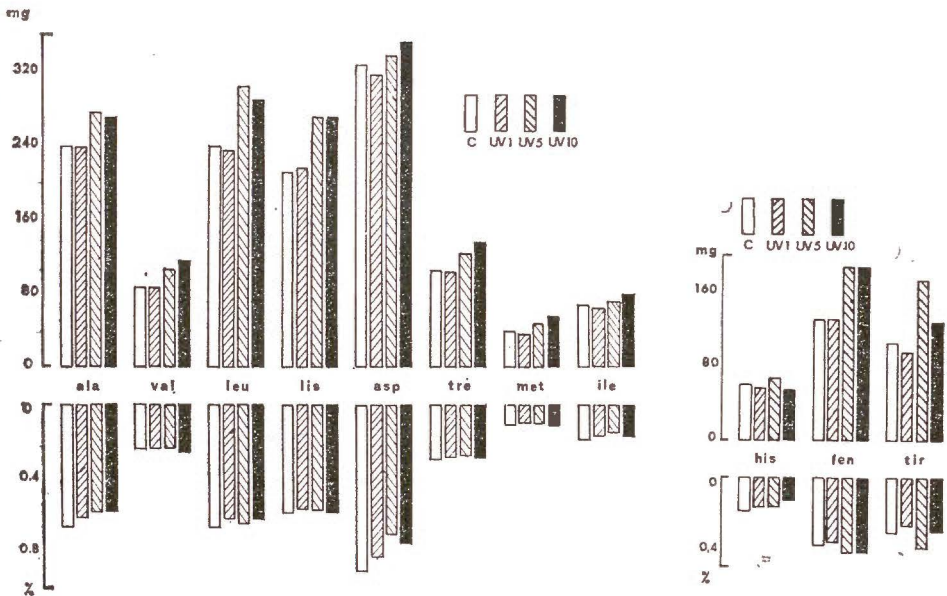
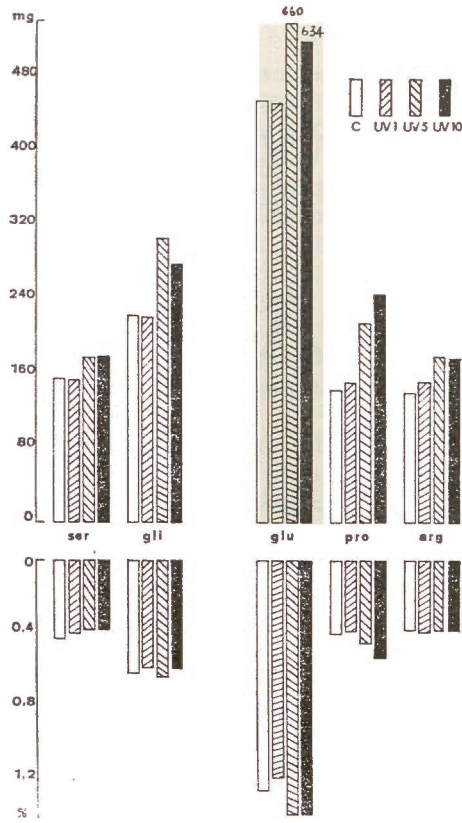


Fig. 2.—Curso seguido por el glutamato proteico, referido a las hojas de una planta (mg) y a porcentaje de peso seco de hoja (%). Modelo válido para varios aminoácidos. M = muestras.

Los aminoácidos en estado libre se presentan en las hojas en una proporción cuantitativa bastante discrepante entre ellos. Respecto a las hojas control, en las irradiadas son, en conjunto, más altos los valores de la mayoría de los aminoácidos, comprendidos los básicos (*arg*, *lis* e *his*), aromáticos (*fen* y *tir*) y los que en su molécula contienen hidroxilo (*ser* y *tre*), y entre los valores más bajos los ácidos (*glu* y *asp*).

Los aminoácidos en estado proteico, referidos a la inflorescencia-infructescencia de una planta, siguen un curso ininterrumpidamente ascendente, muy acusado durante el período de fructificación (fig. 4). Los valores expresados en porcentaje de peso seco de inflorescencia siguen frecuentemente, aunque con algunas alternativas, un curso general descendente, hasta que se producen los primeros frutos; algunos aminoácidos sólo siguen este curso en las inflorescencias irradiadas diez minutos. Durante el período de fructificación, los porcentajes de todos los aminoácidos en estado proteico experimentan un aumento, seguido de una tendencia a la estabilización o disminución terminal.

Los aminoácidos en estado libre, referidos a la inflorescencia de una planta control o irradiada, aumentan inicialmente. En las infructescencias irradiadas, particularmente en las tratadas diez minutos, varios de



Figs. 3a, b y c.—Aminoácidos en estado proteico en las hojas. Cada valor expresado en mg representa la suma de los valores absolutos (aminoácido total en las hojas de una planta), correspondiente a las 7 muestras tomadas, y cada valor expresado en % el porcentaje medio, correspondiente también a las 7 muestras.

Los aminoácidos en estado libre experimentan además un «cambio» o «retraso» en su curso, parecido al indicado para las hojas.

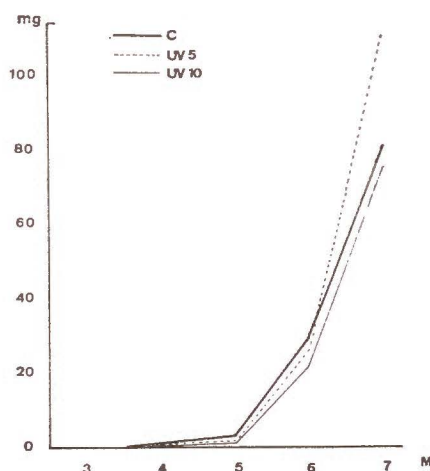
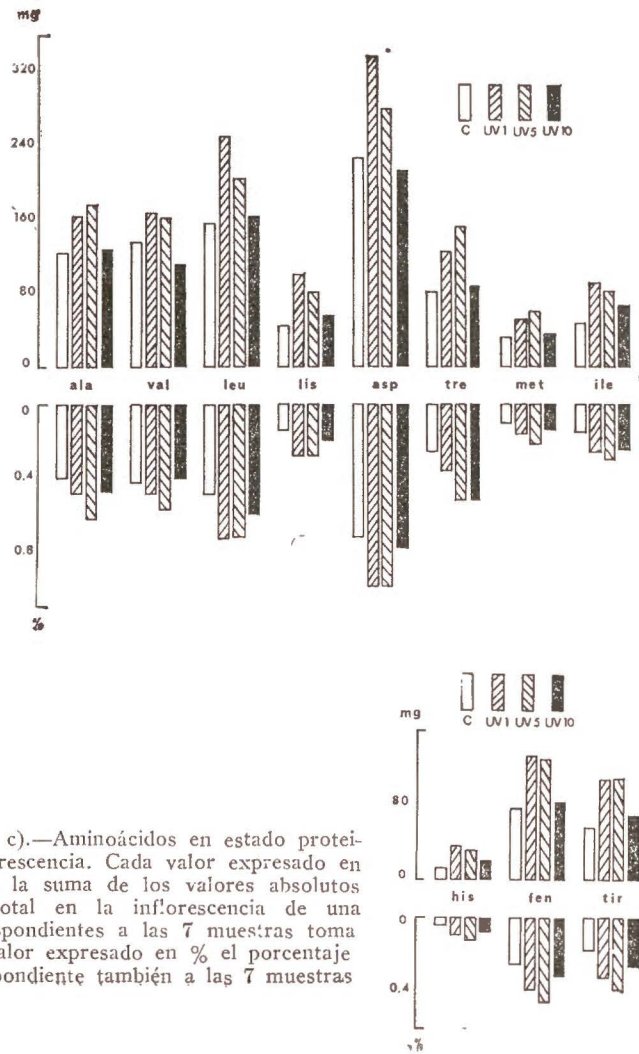
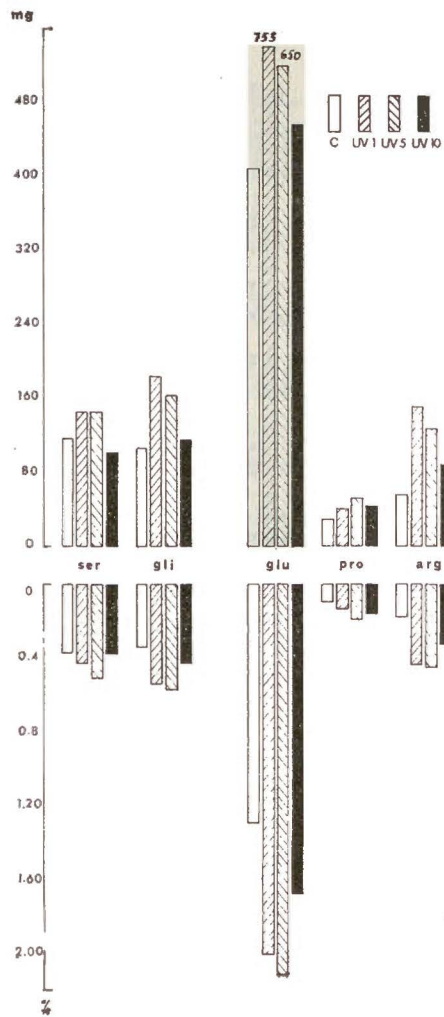


Fig. 4.—Curso seguido por la serina proteica, referida a la inflorescencia de una planta (mg). Modelo válido para varios aminoácidos. M = muestras.

Los valores de los aminoácidos en estado proteico, referidos a la inflorescencia-infructescencia de una planta, indican todos ellos un estímulo en las irradiadas uno y cinco minutos, y menos acusado y con algunas excepciones (*ser*, *val* y *asp*) en las irradiadas diez minutos (figuras 5a, 5b y 5c). Los valores expresados en porcentaje de peso seco de inflorescencia indican también un estímulo por efecto de la irradiación, en este caso independiente del crecimiento, de modo general y acusado en las irradiadas cinco minutos, seguido muy de cerca de las expuestas un minuto, y de modo también prácticamente general aunque menos acusado en las irradiadas diez minutos (figs. 5a, 5b y 5c).

Para la interpretación de los hechos precedentes es necesario considerar el efecto de la irradiación sobre el desarrollo de la inflorescencia-infructescencia y de la planta en general. El estímulo vinculado al crecimiento (valor referido a la parte u órganos de un pie de planta) de la síntesis y/o de la integración de los aminoácidos en proteína en las inflorescencias-infructescencias irradiadas, muy acusado en las tratadas un minuto, seguido de las tratadas cinco minutos y poco acusado en las expuestas diez minutos, es lógico para las primeras que han crecido más, pero no para las segundas que han crecido menos que las control. El estímulo independiente del crecimiento (valor expresado en porcentaje), más acusado en las inflorescencias-infructescencias irradiadas cinco minutos que en las tratadas uno y diez minutos, respectivamente, pero mayores en todas ellas que en las control, se presta también a especulaciones. Así, el mayor porcentaje en las irradiadas cinco minutos que en



Figs. 5a, b y c).—Aminoácidos en estado proteico en la inflorescencia. Cada valor expresado en mg representa la suma de los valores absolutos (aminoácido total en la inflorescencia de una planta), correspondientes a las 7 muestras tomadas, y cada valor expresado en % el porcentaje medio, correspondiente también a las 7 muestras

las tratadas un minuto es lógico, ya que las primeras han crecido menos y su peso es menor, y en consecuencia puede ser mayor su concentración proteica; pero el valor más alto en las irradiadas cinco minutos que en las tratadas diez minutos, ambas de peso parecido, habría que atribuirlo a un efecto directo o indirecto de la irradiación, en este último caso, quizá, a causa del retraso ocasionado en el proceso de floración-fructificación, y de la integración en proteína de los aminoácidos libres frecuentemente más altos, por ejemplo los básicos (*arg, lis e his*), hidrófilos (*ser y tre*) y *pro, gli y ala* que en las control.

Igual que en la hoja, los aminoácidos libres se presentan en las inflorescencias de modo irregular, y sin posibilidad de establecer, con carácter general, la dosis de irradiación más efectiva como estimulante o inhibidora, pero sí se puede indicar un estímulo de los aminoácidos básicos (*arg, lis e his*) y una inhibición de los aromáticos (*fen y tir*), los ácidos (*glu y asp*) y *met*.

En el tallo la irradiación ha limitado la integración de los aminoácidos en proteínas y/o favorecido la hidrólisis de estas últimas en aminoácidos: En la composición de las proteínas son más altos los valores de los aminoácidos básicos (*arg, lis e his*).

En conjunto, los valores de los aminoácidos en estado proteico referidos a la raíz de una planta, indican, con la mayor frecuencia un estímulo, y menos frecuentemente una falta de efecto. Expresados tales valores en porcentaje de peso seco de raíz, son, en general, más altos en las raíces de las plantas irradiadas cinco y diez minutos. Los aminoácidos en estado libre alcanzan, en su mayoría, valores más altos en las raíces de las plantas irradiadas que en las control, mientras que sólo algunos son más bajos, entre ellos se encuentran los básicos (*arg, lis e his*). Los estímulos y las inhibiciones más acusados se producen, en general, en las raíces de plantas irradiadas cinco y diez minutos.

La irradiación ha ocasionado en la raíz un estímulo, por supuesto indirecto dada su situación, independiente del crecimiento, de la mayoría de los aminoácidos en estado libre y/o proteico, con la excepción de algunos en los que no se aprecia efecto alguno, o bien han sido inhibidos, particularmente cuando se hallan en estado libre, entre ellos los básicos (*arg, lis e his*). Los porcentajes de aminoácidos más altos en las raíces de las plantas irradiadas cinco y diez minutos que en las control son lógicos dado que las primeras han crecido menos, y por ello es mayor su concentración de aminoácidos en estado libre y proteico.

En los aminoácidos de los órganos y partes de la planta ensayados, los estímulos y/o inhibiciones, ocasionados por la irradiación UV cercano, no han afectado por igual a todos los aminoácidos en estado proteico y/o libre, lo que indica que no se trata sólo de fenómenos estrictamente vinculados al crecimiento, aunque éste pueda haber influido de algún modo. Se ha producido un «desajuste» en las relaciones cuantitativas de los aminoácidos de por lo menos algunas de las proteínas, hay que suponer lógicamente que de escasa significación vital, dado que las plantas irradiadas incluso las tratadas diez minutos, en las que se ha producido un ligero retardo en la fructificación, han completado satisfactoriamente su ciclo ontogénico.

RESUMEN

Se ha estudiado la influencia de la irradiación con UV-cercano sobre el crecimiento y los aminoácidos proteicos en *Nicotiana rustica* L.

La dosis baja de irradiación aplicada estimula la floración y fructificación, mientras que la dosis alta ocasiona un moderado retardo de ambos procesos, así como un incremento del peso seco de las hojas y del tallo.

Generalmente, la irradiación con UV cercano ocasiona un incremento en el contenido de aminoácidos libres y proteicos, la dosis alta en hojas y raíz, y la dosis baja en flores y frutos.

*Cátedra de Fisiología Vegetal. Facultad de Farmacia.
Universidad de Barcelona.*

BIBLIOGRAFÍA

- (1) ARNON, D. J. y HOAGLAND, D. R.: *Botanical Gaz.*, 104, 576-90, 1943.
- (2) BIEBL, R.: *Protoplasma*, 37, 1, 1942.
- (3) BONAZZI, A.: *Rev. Fac. Agron. Univ. Central Venezuela*, 1, 103-13, 1952.
- (4) BORTNER, C. E. y HAMILTON, J. L.: *Ky. Agr. Exp. Sta. 78th. Ann. Report. 1966.*
En: Tso, T. C., *Physiology and Biochemistry of Tobacco Plants.* Dowden, Hutchinson and Ross, Inc., 221, 1972.
- (5) BRODIE, A. F.: *Biochem. J.*, 113, 1969.
- (6) BURNS, G. R.: *Amer. J. Bot.*, 29, 381, 1962.
- (7) BUTLER, W. L., HENDRICKS, S. B. y SIEGELMAN, H. W.: *Photochem. and Photobiol.*, 3, 524, 1964.
- (8) CALDWELL, M. M.: *Ecol. Monogr.*, 38, 243, 1968. En: CALDWELL, M. M., *Photophysiology.* Academic Press, VI, 166-7, 1971.
- (9) CALDWELL, M. M.: *Photophysiology.* Ed. by Arthur C. Giese. Academic Press., VI, 131-74, 1971.
- (10) DE BONIS, E.: *Il Tobacco.*, 55, 64-72, 1951.
- (11) DERTINGER, H. y JUNG, H.: *Molecular Radiation Biology.* Springer-Verlag., 1970.
- (12) GEISSMAN, T. A.: En: *Moderne Methoden der Pflanzenanalyse.* PAECH, K. y TRACEY, M. V., eds. Springer-Verlag, III, 450, 1955.
- (13) GESSNER, E.: *Planta*, 29, 165, 1938.
- (14) GIOVANNOZZI-SERMANI, G. y SCARACIA-VENEZIAN, M. E.: *Il Tobacco.*, 60, 71-7, 1956.
- (15) GODNEV, T. N., EFREMOVA, R. V. y KRAYTZOVA, L. A.: *Byull. Inst. Biol.*, 129, 6, 1959. En: CALDWELL, M. M., *Photophysiology.* Academic Press., VI, 166, 1971.
- (16) IL'IN, G. S. y LOVKOVA, M. YA.: *U. S. S. R. Biochem.*, 24, 256-62, 769-72, 1959. En: Tso, T. C., *Physiology and Biochemistry of Tobacco Plants.* Dowden-Hutchinson and Ross, Inc., 12, 1972.
- (17) «Instruction Manual for the Model 034-0004 Liquid Chromatograph». Perkin-Elmer, 1968.
- (18) KAWASHIMA, N. y TAMAKI, E.: *Phytochem.*, 6, 329-38, 1967.
- (19) KLEIN, R. M. y EDSALL, P. C.: *Photochem. and Photobiol.*, 6, 841, 1967.
- (20) KLEIN, R. M., EDSALL, P. C. y GENTILE, A. C.: *Plant Physiol.*, 40, 903, 1965.
- (21) LEVITT, J.: *Responses of Plants to Environmental Stresses.* Academic Press., 454, 458-9, 1972.
- (22) MIZUSAKI, S., NOGUCHI, M. y TAMAKI, E.: *Arch. Biochem. Biophys.*, 105, 599-605, 1964.
- (23) MOHR, H.: *Lehrbuch der Pflanzenphysiologie.* Springer-Verlag., 203-9, 1969.
- (24) MOORE, S. y STEIN, W. H.: *J. Biol. Chem.*, 192, 663, 1951.
- (25) MONDINO, A.: *J. of Chromat.*, 39, 262-72, 1969.
- (26) MONDINO, A. y BONGIOVANNI, G.: *J. of Chromat.*, 52, 405-13, 1970.
- (27) NEBOT, R.: *Contribución al estudio de la formación de nicotina en la Nicotiana rustica* L. Tesis, 159-65, 1959.
- (28) NOGUCHI, M. y TAMAKI, E.: *Arch. Biochem. Biophys.*, 98, 197-205, 1962.

- (29) NOGUCHI, M., YAMAMOTO, K., KOIWAI, A., YODA, H. y TAMAKI, E.: Rep. Jap. Monopoly Central Res. Inst., 109, 7-8, 1967. En: TSO, T. C., *Physiology and Biochemistry of Tobacco Plants*. Dowden, Hutchinson and Ross. Inc., 221, 1972.
- (30) NOGUCHI, M., YAMAMOTO, K. y TAMAKI, E.: *Tobacco Sci.*, 8, 8-12, 1964.
- (31) PIRSCHLE, K.: *Biol. Zentralbl.*, 61, 452, 1941.
- (32) SHUL'GIN, I. A., KLESHNIN, A. F. y PODOL'NYI: *Plant Physiol. (U. S. S. R.)*, 7, 116, 1960.
- (33) STAFFORD, H. A.: *Plant Physiol.*, 40, 130, 1965.
- (34) STEIN, W. H. y MOORE, S.: *J. Biol. Chem.*, 176, 337, 1948.
- (35) STEINBERG, R. A., BOWLING, J. D. y McMURTREY, J. E. JR.: *Plant Physiol.*, 25, 279-88, 1950.
- (36) TERRIEN, J., TRUFFAUT, G. y CARLES, J.: *Lighth, vegetation and chlorophyll*. Hutchinson Scientific and Technical. London, 69-74, 1957.
- (37) TSO, T. C. y BURK, L. G.: *Nature*, 193, 1204-5, 1962.
- (38) TSO, T. C., BURK, L. G., SOROKIN, T. y ENGELHAUPT, M. E.: *Plant Physiol.*, 37, 257-60, 1962.
- (39) TSO, T. C. y McMURTREY, J. E. JR.: *Plant Physiol.*, 35, 865-70, 1960.
- (40) VICKERY, H. B., WAKEMAN, A. J. y LEAVENWORTH, C. S.: *Conn. Agr. Exp. Sta. Bull.*, 339, 625-36, 1932.
- (41) WALD, G.: *Life and Light*. Reprinted from *Scientific American*. October, 1959.
- (42) WEINSTEIN, L. H. y PORTER, C. A.: *Boyce Thompson Inst.*, 21, 387-92, 1962.
- (43) WOLF, E. G., FIVES, D. M. y KLEIN, R. M.: *Bull. Torrey Bot. Club*, 94, 411, 1967. En: CALDWELL, M. M., *Photophysiology*. Academic Press., VI, 166, 1971.
- (44) YOSHIDA, D.: *Plant and Cell Physiol.*, 3, 391-5, 1962.

Recibido para publicación: 12-VII-77

CRECIMIENTO Y METABOLISMO NITROGENADO EN PLANTAS DE *NICOTIANA RUSTICA* L. IRRADIADAS CON UV CERCANO

II. ACIDOS NUCLEICOS: ADN Y ARN

p o r

M.^a T. PINOL y C. MORALES

S U M M A R Y

GROWTH AND NITROGEN METABOLISM OF *NICOTIANA RUSTICA* L. PLANTS BY NEAR-UV IRRADIATED. II. NUCLEIC ACIDS: DNA AND RNA

The effect of near-UV radiation on DNA and RNA levels in *Nicotiana rustica* L. plants is studied.

DNA in plant organs vary according to the changes caused by the near-UV radiation on growth: cell division and enlargement. However, the near-UV has clearly stimulated the RNA in inflorescence and root.

Las plantas irradiadas con UV cercano, según se ha indicado en la primera parte de este trabajo (I. Caracteres vegetativos y aminoácidos), han experimentado unas modificaciones en su ciclo de desarrollo y en las relaciones cuantitativas de sus aminoácidos proteicos.

En las mismas plantas se han analizado ADN y ARN, ya que todo efecto de la irradiación sobre estas vitales moléculas tiene que haber incidido de modo directo o indirecto sobre los otros compuestos nitrogenados: aminoácidos y nicotina examinados.

MATERIAL Y MÉTODOS

Una fracción del homogeneizado en alcohol de 80 por 100 (obtenido según se ha indicado en la primera parte de este trabajo: I. Caracteres vegetativos y aminoácidos) se mezcla con un volumen igual de ácido tricloroacético 2 N. Se deja a 4° C durante veinticuatro horas. Se centrifuga. Se decanta el sobrenadante. El residuo se purifica según Mayer y Poljakoff-Mayber (1962), mediante el lavado con los líquidos siguientes (una cantidad de líquido diez veces mayor que la de residuo): alcohol etílico de 70 por 100; ácido perclórico 0,1 N y alcohol etílico de 70 por 100 (1:1); alcohol etílico de 70 por 100 y eter etílico (2:1); y ácido

perclórico 0,2 N. Los lavados tienen que efectuarse a 4°, y después de cada lavado se centrifuga. El residuo se mezcla con unas diez veces su masa de NaOH 0,4 N, e incuba a 37°, durante diecisiete horas. Se centrifuga. Se decanta el sobrenadante, y el residuo se lava dos veces con una pequeña cantidad de agua destilada. Se centrifuga. Se desecha el residuo, y los sobrenadantes reunidos se acidifican con ácido perclórico 1,5 N hasta pH 3. Precipita el ADN. Se centrifuga. En el sobrenadante se encuentran el ARN, que se determina por lectura directa en el espectrofotómetro, en las longitudes de onda de 260 y 340 nm. Las lecturas se refieren a una curva patrón obtenida con ARN de levadura (Fluka). El ADN se encuentra en el residuo. Este último se hidroliza con ácido perclórico 2 N (según Schmidt y Tannhauser, 1945). Se centrifuga. El ADN se determina con reactivo de difenilamina, según el procedimiento de Schneider (1945) modificado por Burton (1956). Se deja veinticuatro horas a 37°. Las lecturas se efectúan en la longitud de onda de 600 nm y se refieren a una curva patrón obtenida con ADN de esperma de arenque (L. Light and Co. Ltd. Colnbrook. England).

Acido desoxirribonucleico (ADN)

El ADN referido a las hojas de una planta sigue un curso inicial ascendente, en las hojas de las plantas control hasta que estas últimas presentan las primeras flores y en las irradiadas solamente hasta que inician la inflorescencia, seguido en ambos casos de disminución (fig. 1). El ADN expresado en porcentaje de peso seco de hoja, igual en las hojas control que en las irradiadas, aumenta hasta que la planta se halla en el estado de preinflorescencia, y después disminuye durante el período de inflorescencia y fructificación. El ADN sigue un curso muy parecido en las hojas control y en las irradiadas.

La disminución de los valores absolutos de ADN en las hojas adultas y/o senescentes, durante el período de fructificación, hay que atribuirla a una transformación de células metabólicamente activas en otras muertas carentes de actividad, con la consiguiente pérdida de materia viva (principalmente ADN y ARN, y proteínas). La disminución de ADN expresado en porcentaje de peso seco de hoja, se debe a las causas antes indicadas, y a una disminución de la multiplicación celular y/o aumento del crecimiento en extensión, y consecuentemente a una reducción o inhibición de la síntesis de ADN.

Los valores de ADN referidos a las hojas de una planta (valores absolutos) son en conjunto más altos en las hojas irradiadas que en las control, e indican un estímulo por efecto de la irradiación UV, más acusado en las tratadas cinco y diez minutos, mientras que los valores expresados en porcentaje de peso seco de hoja son ligeramente más altos en las hojas irradiadas un minuto y ligeramente más bajos en las tratadas cinco y diez minutos, es decir, un pequeño estímulo en las primeras y una pequeña inhibición en las segundas, que puede atribuirse al propio crecimiento más que a un estímulo directo del ADN (fig. 5).

El estímulo vinculado al crecimiento representa un mayor valor neto del ADN sintetizado, e indica que se ha producido multiplicación celular,

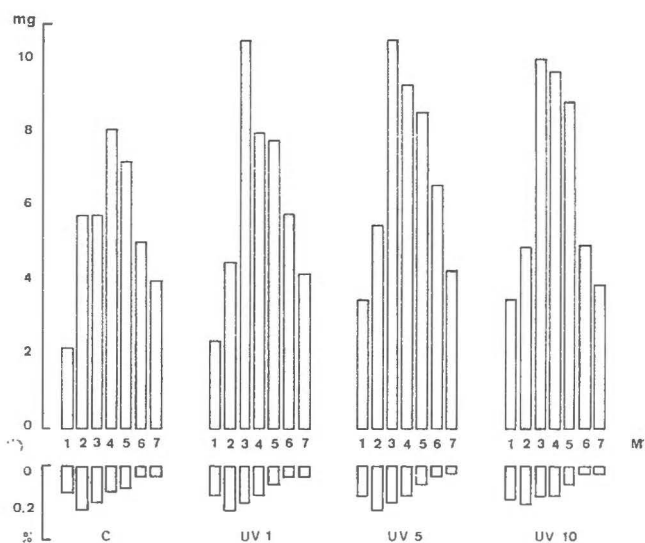


Fig. 1.—Curso seguido por el ADN en las hojas. Los valores de ADN expresados en mg se refieren a las hojas de una planta y los expresados en % a porcentaje de peso seco de hoja. M = muestras.

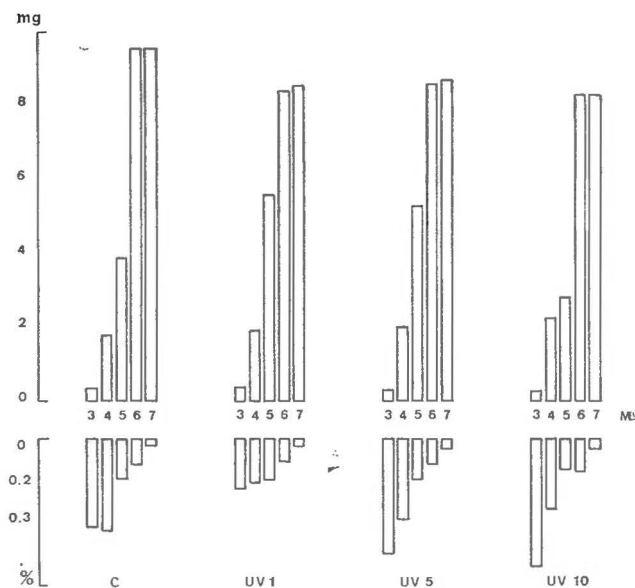


Fig. 2.—Curso seguido por el ADN en la inflorescencia. Los valores de ADN expresados en mg se refieren a la inflorescencia de una planta y los expresados en % a porcentaje de peso seco de inflorescencia. M = muestras.

que lógicamente comprende el desarrollo de otras estructuras mientras que un estímulo independiente del crecimiento reconocido por un mayor porcentaje de ADN, indica que la multiplicación celular no ha ido acompañada «en la misma proporción» del desarrollo de otras estructuras y/o crecimiento por extensión celular, que de producirse lógicamente «diluyen» el contenido de ADN, y hacen que disminuya su porcentaje. En todo caso, los estímulos e inhibiciones se deducen siempre por referencia a los valores en las hojas control.

El ADN referido a la inflorescencia de una planta aumenta muy acusadamente hasta el período de fructificación, y se estabiliza en el estado terminal. Por el contrario, cuando el ADN se expresa en porcentaje de peso seco de inflorescencia, sigue un curso continuamente descendente (figura 2), lo que indica que disminuye la multiplicación celular y se desarrollan estructuras en las que el ADN no participa.

En su conjunto, el valor total de ADN en la inflorescencia-infrutescencia de una planta es ligeramente más bajo en las plantas irradiadas, particularmente en las expuestas diez minutos, que en las control. Los valores expresados en porcentaje de peso seco de inflorescencia-infrutescencia son algo más bajos en las irradiadas un minuto y algo más altos en las expuestas cinco minutos, y prácticamente iguales en las que recibieron diez minutos (fig. 5). Estos valores de ADN podrían hallarse relacionados con el estado de desarrollo y el peso seco alcanzado por las inflorescencias irradiadas respecto a las control: las irradiadas un minuto, algo adelantadas en su desarrollo y de mayor peso seco, tienen un porcentaje de ADN más bajo; las irradiadas cinco minutos, cuyo desarrollo apenas se ha adelantado y su peso seco es menor, tienen un porcentaje de ADN más alto, y las irradiadas diez minutos, algo retrasadas en su desarrollo y de peso también menor tienen un porcentaje de ADN ligeramente más alto. El porcentaje de ADN más bajo en las inflorescencias-infrutescencias irradiadas un minuto y más alto en las que recibieron cinco minutos de irradiación es una consecuencia natural de la diferencia de peso entre ellas, mientras que los valores correspondientes a las irradiadas diez minutos habría que atribuirlos a la demora que estas últimas inflorescencias-infrutescencias han experimentado en su ciclo de desarrollo.

El curso de ADN es sumamente parecido en las raíces de plantas control e irradiadas. Cuando referido a la raíz de una planta, aumenta hasta que esta última se halla en el estado de primeras flores, y después disminuye. Expresados los valores en porcentaje de peso seco de raíz, se observa un discreto aumento antes de que la planta inicie la inflorescencia, y después una disminución hasta el término del ciclo vegetativo (fig. 3).

En su conjunto, los valores de ADN referidos a la raíz de una planta (figura 5), aparentan un estímulo en las raíces de las plantas irradiadas, particularmente en las tratadas uno y cinco minutos, aunque los valores individuales más altos se dan en las de plantas control, durante la floración. Cuando los valores se expresan en porcentaje de peso seco de raíz, los resultados se manifiestan más irregulares: son más altos en las raíces de plantas irradiadas cinco y diez minutos, particularmente en

las primeras, y más bajos en las que recibieron un minuto. Estas diferencias se deben sin duda sólo a fenómenos de crecimiento (fig. 5), ya que la raíz es enteramente ajena a una acción directa de la irradiación UV, percibida solamente por los órganos aéreos. En el apartado

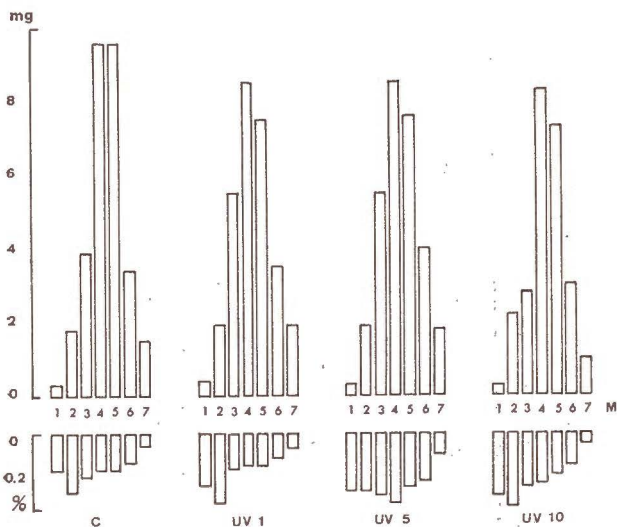


Fig. 3.—Curso seguido por el ADN en la raíz. Los valores de ADN expresados en mg se refieren a la raíz de una planta y los expresados en % a porcentaje de peso seco de raíz. M = muestras.

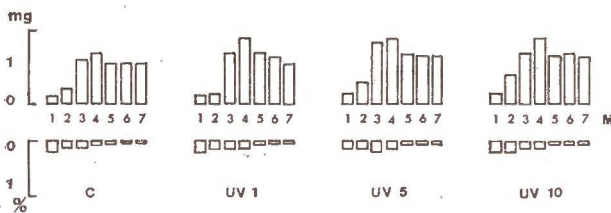


Fig. 4.—Curso seguido por el ADN en el tallo. Los valores de ADN expresados en mg se refieren al tallo de una planta y los expresados en % a porcentaje de peso seco de tallo. M = muestras.

correspondiente a caracteres vegetativos se explican los posibles motivos de las diferencias en el crecimiento de la raíz, según las dosis de irradiación dadas a la planta. En todo caso, los valores correspondientes a la raíz están expuestos a los errores indicados en la primera parte de este trabajo (I. Caracteres vegetativos y aminoácidos).

El ADN referido al tallo de una planta, aumenta hasta que la planta se halla en el estado de primeras flores, y seguidamente disminuye, manteniéndose estable durante el período de fructificación. Expresados los

valores en porcentaje de peso seco de tallo, siguen un curso descendente (fig. 4).

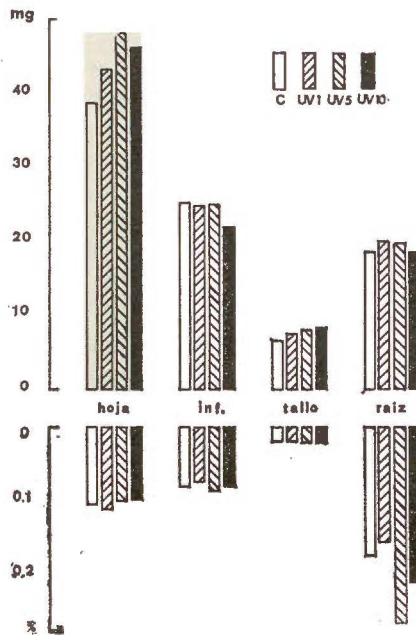


Fig. 5.—Valores globales de ADN. Cada valor expresado en mg representa la suma de los valores absolutos (ADN total en cada órgano de la planta) correspondientes a las 7 muestras tomadas, y cada valor expresado en % el porcentaje medio correspondiente a las 7 muestras.

Los valores de ADN en el tallo son lógicamente más bajos que en los demás órganos de la planta (fig. 5). En su conjunto, lo mismo si tales valores se refieren al tallo de una planta que a porcentaje de peso seco de tallo, son tanto más altos en los tallos de las plantas irradiadas cuanto mayor la dosis de irradiación dada. Así, la irradiación ha ocasionado en el tallo un estímulo, vinculado al crecimiento e independiente del crecimiento, de la formación de ADN. Dado que los tallos de plantas irradiadas han crecido más que los de plantas de control, los porcentajes de ADN más altos de los primeros indican un claro estímulo, que lógicamente ha tenido que producirse en la parte superior debido a su situación respecto a la fuente de irradiación y a su mayor actividad metabólica. En todo caso, la actividad metabólica del tallo para el ADN es muy moderada y regular, como era de esperar de la propia naturaleza de este órgano.

Acido ribonucleico (ARN)

El ARN referido a las hojas de una planta sigue un curso inicial ascendente, en las hojas control hasta que la planta produce los primeros frutos y en las irradiadas hasta que inician la inflorescencia, y después en ambos casos descendente. Los valores de ARN expresados en porcentaje de peso seco de hoja siguen, con alguna alternativa, un curso general descendente (fig. 6), ocasionado sin duda por el crecimiento en extensión celular y el desarrollo de estructuras ajenas al ARN. Con la excepción de algunas ligeras diferencias, el curso de ARN es muy parecido al descrito para el ADN.

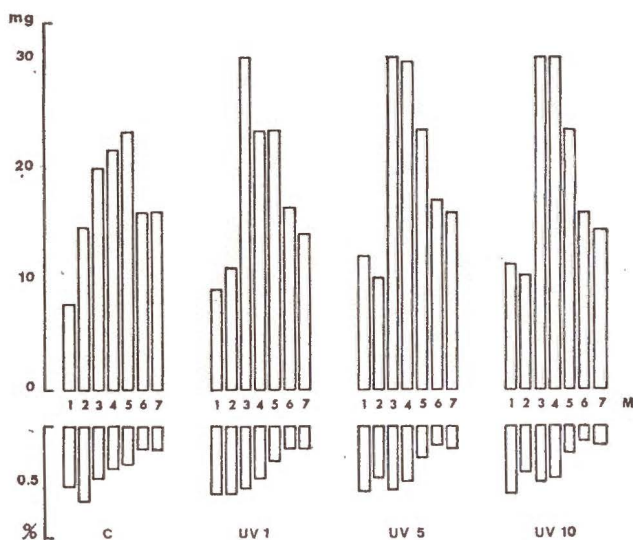


Fig. 6.—Curso seguido por el ARN en las hojas. Los valores de ARN expresados en mg se refieren a las hojas de una planta y los expresados en % a porcentaje de peso seco de hoja. M = muestras.

En conjunto, los valores de ARN referidos a las hojas de una planta son más altos en las irradiadas, particularmente en las expuestas cinco y diez minutos, que en las control. Por el contrario, cuando tales valores se expresan en porcentaje de peso seco de hoja, son más bajos, sobre todo en las expuestas cinco y diez minutos (fig. 10). Así, se puede indicar un estímulo vinculado al crecimiento, más acusado en las hojas irradiadas cinco y diez minutos.

El curso de ARN referido a la inflorescencia-infructescencia de una planta es ascendente en las inflorescencias-infructescencias control y en las irradiadas, seguido de un enorme aumento y estabilización terminal. Por el contrario, el ARN expresado en porcentaje de peso seco de inflorescencia-infructescencia sigue un curso general descendente, enor-

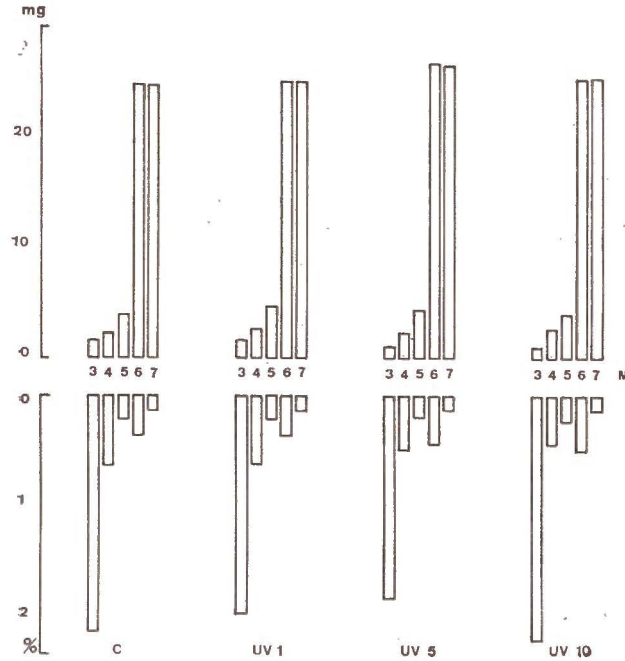


Fig. 7.—Curso seguido por el ARN en la inflorescencia. Los valores de ARN expresados en mg se refieren a la inflorescencia de una planta y los expresados en % a porcentaje de peso seco de inflorescencia. M = muestras.

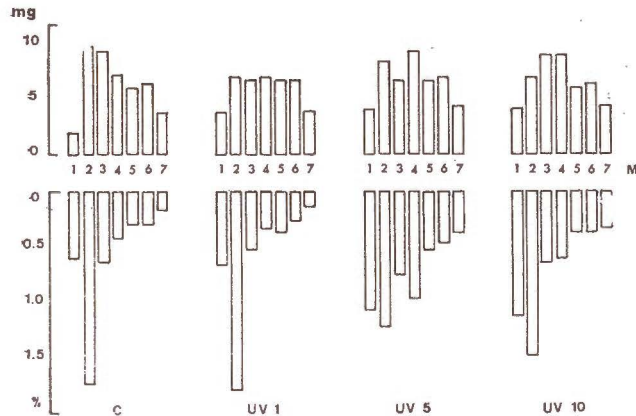


Fig. 8.—Curso seguido por el ARN en la raíz. Los valores de ARN expresados en mg se refieren a la raíz de una planta y los expresados en % a porcentaje de peso seco de raíz. M = muestras.

memente acusado en el estado inicial (fig. 7), con la excepción, igual en las control que en las irradiadas, de una depresión cuando se hallan en el estado de primeros frutos.

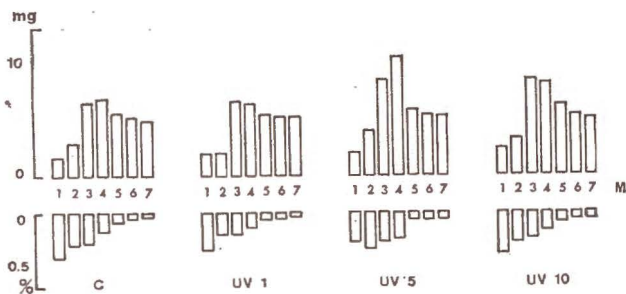


Fig. 9.—Curso seguido por el ARN en el tallo. Los valores de ARN expresados en mg se refieren al tallo de una planta y los expresados en % a porcentaje de peso seco de tallo. M = muestras.

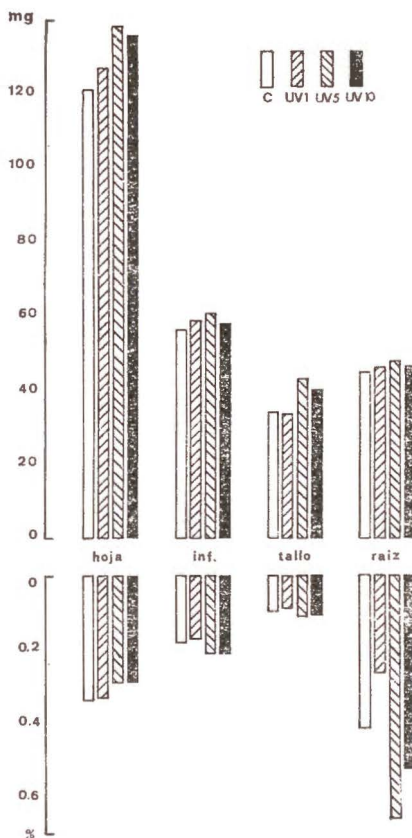


Fig. 10.—Valores globales de ARN. Cada valor expresado en mg representa la suma de los valores absolutos (ARN total en cada órgano de la planta) correspondientes a las 7 muestras tomadas, y cada valor expresado en % el porcentaje medio correspondiente también a las 7 muestras.

En conjunto, los valores de ARN referidos a la inflorescencia-infructescencia de una planta y a porcentaje de peso seco son más altos en las irradiadas que en las control (fig. 10). Así, se ha producido un estímulo independiente del crecimiento, lo que indica multiplicación celular más activa que crecimiento en extensión. La irradiación, que ha incidido de modo más directo y constante sobre la inflorescencia-infructescencia que sobre los demás órganos y/o tejido de la planta, ha estimulado en ella la formación de ARN de modo más claro que la de ADN.

Los valores de ARN referidos a la raíz de una planta son más altos en las raíces de las plantas irradiadas, y cuando expresados en porcentaje de peso seco de raíz notablemente más altos sólo en las raíces de plantas irradiadas cinco y diez minutos, que en las control. Las raíces de las plantas irradiadas un minuto han crecido más (su peso es mayor), y en ellas sólo se aprecia un estímulo en el valor absoluto de ARN, pero no en el porcentaje. La irradiación con las dosis altas (cinco y diez minutos) ha ocasionado en la raíz un estímulo independiente del crecimiento de la formación de ARN.

Los valores de ARN referidos al tallo de una planta y a porcentaje de peso seco de tallo, son, en conjunto, algo más altos en los tallos de las plantas irradiadas cinco y diez minutos que en las control (fig. 9). Según se ha indicado para el ADN, el estímulo observado tiene que haberse producido sobre todo en la parte superior del tallo, debido a que recibe más directamente la irradiación y a que se halla en un estado vegetativo más joven, y por ello metabólicamente más activo que la parte inferior. Por las razones expuestas, la parte superior del tallo se hallaría en una situación relativamente parecida a aquella de la inflorescencia y de las hojas superiores.

RESUMEN

Se ha estudiado el efecto de la irradiación con UV cercano sobre los niveles de ADN y ARN en *Nicotiana rustica* L.

El ADN varía en los órganos de la planta según los cambios causados en ella, por efecto de la irradiación, sobre el crecimiento: división y extensión celular. Sin embargo, el UV cercano estimula claramente la formación de ARN en la inflorescencia y en la raíz.

*Cátedra de Fisiología Vegetal. Facultad de Farmacia.
Universidad de Barcelona.*

BIBLIOGRAFÍA

- (1) BURTON, K.: Biochem. J., 62, 315, 1956.
- (2) MAYER, A. M. y POLJAKOFF-MAYBER, A.: Physiologia Plantarum, 15, 283, 1962.
- (3) SCHMIDT, B. y TANNHAUSER, S. J.: J. Biol. Chem., 161, 83, 1945.
- (4) SCHNEIDER, W. C.: J. Biol. Chem., 161, 293-303, 1945.

Recibido para publicación: 13-VII-77

INTERACCIONES ENTRE K, Ca Y Mg A NIVEL DE SU ABSORCION Y DISTRIBUCION EN PLANTAS DE TOMATE

por

I. AGUI, M. GÓMEZ y L. RECALDE

SUMMARY

K, Ca AND Mg INTERACTIONS AT ABSORPTION AND DISTRIBUTION LEVEL IN TOMATO PLANTS

An experiment has been carried out with tomato plants (Marglobe, var.) grown in hydroponics to study the effect of simultaneous variation of the cation macroelements (K, Ca, Mg) relative rates, on its absorption and distribution.

In the experimental conditions used K, Ca and Mg absorption essentially depended on the quantities of these elements in the solution. In relation to distribution, the higher the element concentration in the solution, the lower its proportion to the shoot.

The influence of two of the cations on the absorption and distribution of the other element was different according to the cation considered; the K absorption and distribution was practically independent of the concentration of divalent cations in the solution, while Ca and Mg absorption, and therefore their distribution, was affected by the cation equilibrium in the solution. The most important effect observed was the high Ca or Mg retention in the root as a result of the predominance of divalent cations over monovalent ones in the solution.

1. INTRODUCCIÓN

A pesar de que las interacciones iónicas, y especialmente los antagonismos catiónicos, han sido objeto de numerosos estudios, aún no podemos considerar que el problema se halle definitivamente resuelto. En efecto, en una revisión bibliográfica del tema se puede llegar a la conclusión de que los resultados obtenidos son casi tan numerosos como los trabajos realizados (ver tabla 1.1).

Esta diversidad de resultados se debe, en gran parte, a las diferentes condiciones en que se han realizado las experiencias. Así, muchos de los trabajos se han realizado en condiciones de campo en donde el control de los distintos factores resulta prácticamente imposible; por otra parte, en otros muchos casos, las experiencias se realizaron en condiciones de deficiencia o toxicidad, con lo que nos encontramos ante una situación fisiológica anormal o patológica.

En el presente trabajo se ha tratado de estudiar las interacciones catiónicas bajo condiciones experimentales perfectamente controladas, teniendo en cuenta, por otra parte, que las variaciones catiónicas introducidas en las soluciones nutritivas no acarreasen situaciones de profunda deficiencia o toxicidad. De esta forma los resultados obtenidos podrían atribuirse exclusivamente a la diferente proporción de los macronutrientes catiónicos presentes en el medio.

TABLA 1.1

Resumen de las interacciones encontradas en la bibliografía entre macronutrientes catiónicos

	Elemento en sol. nutritiva	Interacciones encontradas			
		Independiente	Inhibición	Estimulación	Otras respuestas
Absorción de potasio	Ca	(12)	(1,10,15,27)	(7)	Depende de [K] en el medio (8)
	Mg	(14)	(1,3,10,18,27)	—	Depende de la [K] en el medio (20)
Absorción de calcio	K	—	(5,11,15,18,20,24)	—	—
	Mg	(4)	(1,3,6,15,18)	—	Inhibida cuando el K era alto (20)
Absorción de magnesio	K	(23)	(3,14,28)	—	Inhibida por K y Ca pero no por uno sólo (18)
	Ca	—	(1,15)	(7)	

2. MATERIAL Y MÉTODOS

El material vegetal usado en esta experiencia fue el tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill., var. *Marglobe*).

El cultivo se realizó en las siguientes etapas:

a) *Imbibición* de las semillas en agua destilada a 25° C durante doce horas.

b) *Germinación* en arena de cuarzo humedecida de acuerdo con la fórmula de Justice (13). En este período, de cincuenta días de duración, se mantuvo la humedad adecuada por adición de agua destilada durante las dos primeras semanas, y a partir de entonces con solución nutritiva completa diluida a 1/3.

c) *Cultivo hidropónico con solución standard*, con objeto de que las plantas se adaptaran al nuevo medio. Para evitar un exceso de acumulación de nutrientes por parte de las plantas, esta etapa duró doce días y la solución nutritiva se renovó una sola vez.

La solución standard, preparada tomando como base la propuesta por Maxwell Bentley (19), fue la siguiente:

Macroelementos

NO_3^- (10 meq/l); PO_4H_2^- (6 meq/l); $\text{SO}_4=$ (4 meq/l)
 K^+ (4 meq/l); Ca^{++} (8 meq/l); Mg^{++} (8 meq/l).

Microelementos

Fe (4 p.p.m.); Cu, Zn (0,5 p.p.m.); Mn, B (0,05 p.p.m.).

Dicha solución fue ajustada a $\text{pH} = 5,5 \pm 0,2$ siguiendo la técnica de Steiner (25), presentando las siguientes características:

Concentración total de iones = 30 iones mg/l.
Relación aniones/cationes = 0,95
Presión osmótica = 0,71 atm.
pH = $5,5 \pm 0,2$

Las condiciones ambientales de la experiencia fueron:

<i>Fotoperíodo</i>	<i>Temperatura</i>	<i>Humedad relativa</i>
16 h.	<i>diurna:</i> $28^\circ \text{C} \pm 2$ <i>nocturna:</i> $19^\circ \text{C} \pm 2$	<i>diurna</i> ($55 \pm 1\%$) <i>nocturna</i> ($85 \pm 5\%$)

El cultivo se realizó en botes de polietileno de 1,5 l de capacidad a razón de cuatro plantas por bote, manteniendo la solución convenientemente aireada mediante un burbujeo continuo de aire a presión. En todas las manipulaciones se prescindió del material de vidrio para evitar contaminaciones de B.

Durante esta etapa de cultivo se intercambiaron las posiciones de los botes, para que las plantas fuesen lo más homogéneas posible antes de pasarlas a las soluciones diferenciales. Al final de este período, se tomaron ocho botes representativos, que se usaron para ver el tamaño de las plantas al inicio del cultivo diferencial. El peso seco medio por planta resultó de 0,48 g., distribuidos en 0,37 g/vástago y 0,11 g/raíz.

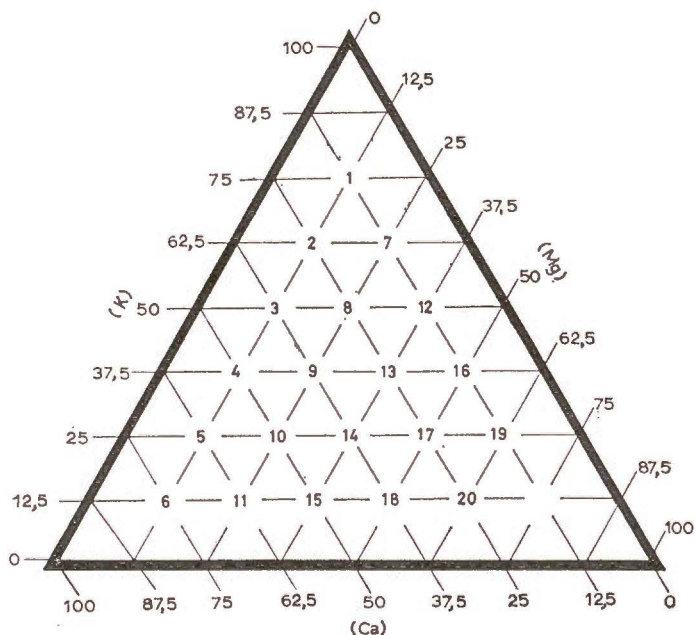
c) *Cultivo hidropónico en soluciones diferenciales*.—En este período, de veinticinco días de duración, se mantuvieron las plantas en las distintas soluciones diferenciales. Dichas soluciones fueron preparadas tomando como base la solución standard de la etapa anterior y variando sistemáticamente las proporciones entre los nutrientes catiónicos (K ,

Ca, Mg), de acuerdo con un diseño en que se utilizaron 20 proporciones distintas de dichos elementos catiónicos (tabla 2.1).

Todas las soluciones se ajustaron a pH $5,5 \pm 0,2$, siguiendo la técnica de Steiner (25), efectuándose el cambio de solución cuando el pH sufría una variación de $\pm 0,5$ unidades.

TABLA 2.1

Proporciones de macronutrientes catiónicos en la «solución diferencial» correspondientes a cada tratamiento



Las plantas se recolectaron separando en cada tratamiento y repetición el vástago (tallo + hojas) de la raíz. El material así obtenido se secó en una estufa con corriente forzada de aire a 60° C durante veinticuatro horas, y a continuación se determinó el peso seco.

Cada una de las muestras fue dividida en dos porciones:

- 1.ª Porción: Mineralización por vía húmeda (17, 21)
K Fotometría de llama (17)
- 2.ª Porción: Incineración (2)
Ca y Mg Espectrofotometría de absorción atómica (22).

El crecimiento (de vástago, raíz y planta) se expresó en *gramos de materia seca*; mientras que la distribución del crecimiento viene dada,

en cada caso, por el cociente entre los pesos secos respectivos de vástago y raíz.

Los datos analíticos se expresaron como *miliequivalentes de elemento absorbido* por planta, o por sus diferentes partes, y se obtuvieron multiplicando la concentración del elemento en el tejido considerado, por el peso seco correspondiente a dicho tejido. Los datos obtenidos han sido ordenados en tablas en las que cada tratamiento tiene la proporción de elementos catiónicos que se indica en la tabla 2.1.

Asimismo, con objeto de individualizar los efectos producidos por cada uno de los elementos catiónicos variables en nuestra experiencia, hemos elaborado unas tablas en las que se consideran los efectos en función del porcentaje de un determinado elemento (K, Ca o Mg) en la solución nutritiva. Esto se ha realizado calculando las medias aritméticas de los efectos producidos por todos los tratamientos que disponían del mismo porcentaje de dicho elemento en la solución nutritiva, prescindiendo en todos los casos de las variaciones de los otros dos elementos.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Crecimiento

Como puede verse en la tabla 3.1, la distinta proporción de macronutrientes catiónicos en el medio no determinaron variaciones importantes en el crecimiento de la planta, excepto en los tratamientos 6 y 11, en los que se aprecia una disminución estadísticamente significativa.

En cuanto a los *síntomas visuales* podemos indicar que los diferentes tratamientos no determinaron cambios importantes en las plantas, excepto en la raíz correspondiente al Tto. 6, en la que se apreciaba una alteración de su consistencia, mostrando toda ella un aspecto gelatinoso.

TABLA 3.1

Crecimiento y distribución del crecimiento(Gramos de materia seca y cociente vástago/raíz, respectivamente)
Media de 4 repeticiones

Tto.	Vástago	Raíz	Planta	V/R
1	12,5	2,2	14,7	5,7
2	11,5	1,8	13,3	6,5
3	12,1	1,7	13,7	7,2
4	12,0	1,9	13,9	6,4
5	12,0	2,0	14,0	6,1
6	8,3	2,1	10,4	4,0
7	12,1	1,8	13,9	6,7
8	12,2	1,7	13,9	7,0
9	12,2	1,9	14,1	6,5
10	12,6	2,2	14,8	5,8
11	9,3	2,4	11,7	4,0
12	11,4	1,7	13,1	6,8
13	12,9	2,0	14,9	6,4
14	11,7	2,1	13,8	5,6
15	10,7	2,1	12,8	5,1
16	12,2	1,7	14,0	7,0
17	12,2	2,1	14,3	5,8
18	10,4	2,2	12,6	4,9
19	11,1	1,6	12,6	7,1
20	12,5	2,2	14,6	5,7
5 %	1,3	0,4	1,5	0,7
M. D. S. 1 %	1,8	0,5	2,1	0,9
0,1 %	2,3	0,7	2,7	1,2

3.2. *Absorción y distribución de potasio*

Como puede observarse en la tabla 3.2, la cantidad de K absorbida por la planta se modifica profundamente de acuerdo con el nivel de K presente en la solución nutritiva, no resultando en cambio afectada por la proporción de los otros dos cationes. En efecto, al aumentar la proporción de K en el medio crece su absorción por la planta, mientras que, para cada nivel de K, la diferente proporción de cationes divalentes

(Ca y Mg) carece de influencia. Las mismas conclusiones pueden deducirse de las cantidades absorbidas por el vástago y la raíz, aunque en este último órgano la anterior regla no se cumple para el tratamiento 6 en que se observa un aumento del K acumulado en raíz por efecto de la elevada concentración de Ca en el medio.

TABLA 3.2

Absorción y distribución de potasio
(meq. y cociente vástago/raíz, respectivamente)
Media de 4 repeticiones

% K en la sol. nutritiva	Tto.	Vástago	Raíz	Planta	V/R
12,5 %	6	7,5	1,0	8,5	7,6
	11	7,0	0,6	7,6	12,9
	15	7,2	0,5	7,7	15,0
	18	7,4	0,4	7,8	17,2
	20	7,3	0,6	7,9	12,3
25 %	5	12,9	1,2	14,1	10,9
	10	13,5	1,1	14,6	12,3
	14	13,0	1,1	14,1	12,3
	17	13,7	1,1	14,8	12,0
	19	13,7	0,9	14,6	15,8
37,5 %	4	16,0	1,8	17,9	8,7
	9	16,8	1,7	18,6	9,9
	13	16,4	1,7	18,1	10,4
	16	16,7	1,7	18,4	10,0
50 %	3	17,4	2,0	19,4	8,7
	8	17,6	2,2	19,9	7,8
	12	17,4	2,3	19,7	7,6
62,5 %	2	18,1	2,5	20,6	7,2
	7	19,2	2,6	21,8	7,5
75 %	1	19,0	4,0	23,0	4,7
	5 %	1,2	0,4	1,3	1,9
	M. D. S. 1 %	1,5	0,5	1,7	2,5
	0,1 %	2,0	0,6	2,2	3,3

Respecto a la distribución del K entre el vástago y la raíz se puede observar que al disminuir la proporción de este elemento en la solución

nutritiva, la proporción de K emigrado al vástago aumenta considerablemente.

T A B L A 3.2.1

Absorción y distribución de potasio en la planta en función del % de elemento en la solución nutritiva

(meq. y cociente vástago/raíz, respectivamente)

% elemento en la sol. nutritiva	A b s o r c i ó n			D i s t r i b u c i ó n		
	Vástago	Raíz	Planta	K	Ca	Mg
	K	K	K			
12.5	7.3	0.6	7.9	13.0	9.1	8.0
25	13.4	1.1	14.4	12.7	9.9	10.1
37.5	16.5	1.7	18.3	9.8	12.0	11.3
50	17.5	2.2	19.7	8.0	12.0	13.1
62.5	18.7	2.6	21.2	7.4	11.9	14.1
75	19	4.0	23.0	4.7	7.6	—

En cuanto a la influencia que los otros dos cationes tienen sobre la distribución del K, aunque la consideración de la tabla 3.2. muestra algunas diferencias en los niveles más bajos de K, dichas diferencias excepto en el Tto. 6, no son significativas, por lo que podemos concluir, de acuerdo con lo anteriormente discutido, que la proporción de Ca y Mg tiene poca influencia en la distribución del K. En efecto, al tratar de individualizar los efectos de dichos cationes (tabla 3.2.1) se observa que el comportamiento del Mg es perfectamente inverso al del K, lo que puede ser interpretado como un efecto indirecto, ya que un aumento de Mg implica una disminución de K en el medio. El Ca tiene, en principio, un efecto similar al Mg, aunque menos acentuado, excepto en el nivel extremo (Tto. 6), en el que se aprecia una depresión apreciable que refleja una ligera tendencia de la raíz a retener una mayor cantidad de K por efecto de las altas proporciones de Ca en el medio.

3.3. *Absorción y distribución de calcio*

Los resultados que se resumen en la tabla 3.3 indican que al aumentar la proporción de Ca en el medio aumenta la cantidad de este elemento absorbido por la planta, el vástago y la raíz. Como puede observarse en la tabla 3.3.1, el incremento experimentado tanto por el vástago como por la raíz resulta perfectamente proporcional para todos los niveles, excepto en el nivel más alto, en el que la cantidad de elemento en las diferentes partes de la planta permanece prácticamente constante.

TABLA 3.3

Absorción y distribución de calcio
(meq. y cociente vástago/raíz, respectivamente)
Media de 4 repeticiones

% Ca en la sol. nutritiva	Tto.	Vástago	Raíz	Planta	V/R
12,5 %	1	5,4	0,6	6,0	9,7
	7	5,6	0,5	6,1	10,6
	12	5,0	0,6	5,6	8,6
	16	5,1	0,6	5,7	8,0
	19	4,1	0,5	4,6	7,9
25 %	2	8,6	1,3	9,9	6,3
	8	8,3	1,7	9,9	5,0
	13	8,2	1,7	9,9	4,8
	17	6,6	2,2	8,8	3,2
	20	6,7	2,9	9,6	2,3
37,5 %	3	11,0	1,7	12,7	6,8
	9	11,2	3,3	14,5	3,5
	14	8,1	4,1	12,2	2,0
	18	8,3	5,2	13,5	1,7
50 %	4	12,4	3,1	15,5	4,1
	10	12,5	5,1	17,6	2,5
	15	10,7	6,2	16,9	1,7
62,5 %	5	14,8	4,5	19,3	3,4
	11	12,3	8,3	20,6	1,5
75 %	6	12,7	6,8	19,5	1,9
	5 %	1,7	1,0	1,7	1,1
	M. D. S. 1 %	2,3	1,4	2,2	1,5
	0,1 %	3,0	1,8	2,9	1,9

Si consideramos la cantidad total de Ca absorbido por la planta en función de la proporción relativa de K y Mg en la solución nutritiva (tabla 3.3) se puede concluir que dentro de cada nivel de Ca la proporción de los otros cationes carece prácticamente de efecto. Sin embargo, considerando separadamente las distintas partes: vástago y raíz, se observa que la cantidad de Ca absorbido depende de la proporción en que se encuentran los otros dos elementos en el medio, existiendo diferencias bastante apreciables, sobre todo en la raíz. Concretando podemos

concluir que en el vástago la proporción de K y Mg no tiene influencia en el nivel más bajo de Ca (12,5 por 100), pero en los niveles más ricos en Ca se observa una disminución del contenido de Ca a medida que los tratamientos disponen de más Mg y menos K (en la tabla 3.3 estas condiciones se cumplen, dentro de cada nivel de Ca, en sentido descendente).

TABLA 3.3.1

Absorción y distribución de calcio en la planta en función del % de elemento en la solución nutritiva

(meq. y cociente vástago/raíz, respectivamente)

% elemento en la sol. nutritiva	A b s o r c i ó n			D i s t r i b u c i ó n		
	Vástago	Raíz	Planta	K	Ca	Mg
	Ca	Ca	Ca			
12.5	5.0	0.6	5.6	1.8	9.0	5.4
25	7.7	2.0	9.6	3.8	4.3	4.6
37.5	9.7	3.6	13.2	5.1	3.5	4.3
50	11.9	4.8	16.6	6.8	2.8	4.3
62.5	13.9	6.4	20.0	8.5	2.5	5.1
75	12.7	6.8	19.5	9.7	1.9	—

En la raíz, en cambio, el comportamiento es inverso al del vástago, ya que dentro del mismo nivel de Ca, la cantidad de Ca retenida por la raíz aumenta a medida que el K va siendo sustituido por el Mg. Al igual que ocurría en el vástago esta influencia no se manifiesta en el nivel más bajo de Ca.

De acuerdo con todo lo expuesto, la distribución del Ca entre el vástago y la raíz (tabla 3.3), se ve claramente afectada por la proporción relativa de los macronutrientes catiónicos en la solución externa. El sentido de dicha influencia se pone de manifiesto en la tabla 3.3.1, en donde se recogen los efectos individualizados de cada uno de los cationes sobre la migración del Ca al vástago. En dicha tabla se observa: a) que la proporción de Ca emigrado al vástago disminuye con la concentración de Ca en la solución nutritiva, efecto que se intensifica considerablemente en el tratamiento de menor concentración; b) que dicha migración aumenta —de forma casi proporcional— con la concentración de K en el medio, y c) que, por el contrario, la concentración de Mg en la solución nutritiva prácticamente carece de efecto.

3.4. *Absorción y distribución de magnesio*

Al considerar los resultados de la absorción de Mg por la planta (tablas 3.4 y 3.4.1) se observa que dichos valores aumentan de forma muy regular al aumentar la proporción de Mg en el medio. Cosa muy parecida sucede al considerar el contenido de Mg en el vástago y la raíz.

T A B L A 3.4

Absorción y distribución de magnesio

(meq. y cociente vástago/raíz. respectivamente)

Media de 4 repeticiones

% Mg en la sol. nutritiva	Tto.	Vástago	Raíz	Planta	V/R
12,5 %	1	4,5	0,4	5,0	10,5
	2	4,4	0,3	4,7	12,7
	3	4,3	0,4	4,7	11,4
	4	4,3	0,6	4,9	7,9
	5	4,0	1,0	5,0	4,1
	6	2,8	0,7	3,5	3,8
25 %	7	7,1	0,6	7,7	12,2
	8	6,6	0,7	7,3	9,7
	9	6,9	1,0	7,9	6,5
	10	7,2	1,8	9,0	4,0
	11	6,0	1,6	7,6	3,8
37,5 %	12	8,3	0,9	9,2	9,5
	13	8,7	1,5	10,2	6,0
	14	8,3	2,1	10,4	4,0
	15	8,9	2,2	11,1	4,1
50 %	16	10,0	1,6	11,6	6,4
	17	9,8	2,4	12,2	4,1
	18	10,1	2,4	12,5	4,1
62,5 %	19	10,5	2,1	12,6	5,1
	20	12,4	3,0	15,4	4,1
	5 %	0,9	0,4	1,1	1,4
	M. D. S. 1 %	1,2	0,5	1,5	1,9
	0,1 %	1,5	0,6	1,9	2,5

Si se considera la influencia que ejerce la proporción de los otros dos cationes (K y Ca) sobre la absorción de Mg por la planta (tabla 3.4),

se puede concluir que dicha proporción carece de efecto, ya que para cada nivel de Mg los valores son, en general, bastante homogéneos, excepto en los tratamientos 6 y 20, en que se aprecian unas diferencias claramente significativas, aunque de sentido contrario: disminución en el Tto. 6 y aumento del Mg absorbido en el Tto. 20. El cuadro general del comportamiento del Mg en la planta entera es el reflejo de lo que ocurre en el vástago, mientras en la raíz se pone de manifiesto que, en general, dentro de cada nivel de Mg, existe una mayor acumulación de este elemento a medida que en el medio existe una mayor proporción de Ca y una menor cantidad de K; ahora bien, debido a que en la raíz los valores son bajos, en relación a los del vástago, dichas diferencias no se ponen de manifiesto en la planta.

TABLA 3.4.1

Absorción y distribución de magnesio en la planta en función del % de elemento en la solución nutritiva

(meq. y cociente vástago/raíz, respectivamente)

% elemento en la sol. nutritiva	A b s o r c i ó n			D i s t r i b u c i ó n		
	Vástago	Raíz	Planta	K	Ca	Mg
	Mg	Mg	Mg			
12.5	4.1	0.6	4.6	4.0	8.7	8.4
25	6.8	1.1	7.9	4.3	7.3	7.2
37.5	8.6	1.7	10.2	6.7	6.5	5.9
50	10.0	2.1	12.1	10.2	5.3	4.9
62.5	11.5	2.6	14.0	12.5	4.0	4.6
75	—	—	—	10.5	3.8	—

En cuanto a la redistribución del Mg entre el vástago y la raíz en función de la proporción de cada uno de los elementos en la solución nutritiva (tabla 3.4.1) observamos que la proporción de Mg emigrada al vástago disminuye de forma casi proporcional tanto al aumentar la proporción de Mg como la de Ca en el medio; mientras que el efecto de K es favorecer la migración del Mg al vástago, excepto en los niveles extremos, el primero (débil concentración de K) carecen de efecto y el último (elevada concentración de K) la deprime.

4. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos, anteriormente descritos, se pueden resumir en los siguientes puntos:

1. *Absorción*

En las condiciones de nuestra experiencia la absorción de K, Ca y Mg depende esencialmente, en todos los casos, de la cantidad en que se encuentran dichos nutrientes en la solución nutritiva, mientras que la influencia de los otros dos cationes sólo se pone de manifiesto en algunos casos:

a) *Absorción de K.*—La influencia del Ca y Mg es prácticamente nula, excepto en el tratamiento 6, en que el exceso de Ca en la solución nutritiva determina una mayor acumulación de K en la raíz. Estos resultados coinciden con los obtenidos por otros investigadores (7).

b) *Absorción de Ca.*—Se ve afectada por la relación de los otros dos cationes en el medio en el siguiente sentido: incremento del Ca retenido por la raíz a medida que en la solución nutritiva aumenta el Mg y, por tanto, disminuye el K; por el contrario en el vástago la influencia es justo inversa de lo descrito para la raíz. Los anteriores efectos, tanto en la raíz como en el vástago, se ponen de manifiesto en todos los niveles de Ca, excepto en el más bajo.

c) *Absorción de Mg.*—En la raíz se da una situación análoga a la descrita para el Ca, sin más que sustituir Mg por Ca. Sin embargo, en el vástago la situación es distinta, ya que la influencia de los otros dos cationes sobre el Mg emigrado al vástago sólo se pone de manifiesto en dos casos: (Ttos. 6 y 20), en que existen predominio de cationes divalentes sobre los monovalentes. Sin embargo, el sentido de dicha influencia es bien distinto, dependiendo de la proporción Ca/Mg en el medio: inhibición cuando predomina el Ca (Tto. 6) y estímulo cuando, por el contrario, hay predominio del Mg.

2. *Distribución*

Es un efecto general, para que todos los cationes, que la proporción de elemento emigrada al vástago es tanto menor cuanto mayor es la concentración de dichos elementos en la solución externa.

La explicación de este hecho estaría en el efecto regulador que ejerce la raíz sobre la cantidad de elemento emigrado al vástago, lo que determina que aunque el contenido de elemento en la raíz depende casi proporcionalmente de lo existente en la solución externa, la cantidad que llega al vástago esté en función de sus necesidades, aumentando considerablemente en la zona de deficiencia, pero manteniéndose a un nivel prácticamente constante cuando las necesidades se hallan cubiertas. En cuanto a la influencia que los otros dos cationes ejercen sobre la distribución de un elemento determinado, conviene puntualizar previamente que en la interpretación del efecto hay que tener en cuenta no sólo el efecto en sí sino también los valores de absorción del vástago y de la raíz. Así, el efecto estimulante del Ca y Mg sobre *la distribución de K*,

teniendo en cuenta que dichos cationes no influían (excepto en el Tto. 6) en la absorción de K, deberá considerarse como un efecto indirecto, que refleja el hecho de que el aumento de Ca y Mg en la solución nutritiva implica una disminución simultánea del K.

Sin embargo, en la distribución del Ca, sólo el K tiene un efecto estimulante, mientras que el incremento de Mg en el medio mantiene los valores de distribución de Ca a un nivel constante, a base de actuar en sentido contrario sobre la cantidad emigrada al vástago y la retenida por la raíz.

Y por último, en la distribución de Mg, el K (al igual que en el caso anterior), tiene un efecto estimulante, mientras que el Ca no sólo actúa en el mismo sentido que el Mg (deprimiendo la distribución), sino que incluso el efecto es más acentuado. Es decir, en la retención del Mg por la raíz es más efectivo el incremento de Ca que el de Mg, lo que probablemente se deba a la inmovilización conjunta de ambos cationes por coprecipitación en forma de fosfatos (9, 16, 26). El hecho de que el efecto se manifieste preferentemente en la raíz, y no en el vástago, hace que el sentido descendente de dicho efecto sea muy pronunciado.

RESUMEN

Se ha realizado una experiencia con plantas de tomate (var. *Marglobe*) cultivadas en hidropónicos para tratar de comprobar el efecto que la variación simultánea de las proporciones de los macroelementos catiónicos (K, Ca, Mg) en la solución nutritiva ejercen sobre la absorción y distribución de dichos macronutrientes catiónicos.

En las condiciones de nuestra experiencia la absorción de K, Ca y Mg dependen esencialmente de la cantidad de dichos nutrientes en la solución nutritiva, siendo la proporción del elemento emigrado al vástago tanto menor cuanto mayor es la concentración de los mismos en la solución externa.

En cuanto a la influencia que los otros dos cationes tienen sobre la absorción y distribución de cada uno de los elementos catiónicos es distinto según el catión considerado. Así, la absorción y distribución del K es prácticamente independiente de la concentración en que se encuentran los cationes divalentes, mientras que la absorción, y por tanto la distribución de Ca y Mg se encuentra afectada por la proporción de elementos en el medio; siendo el efecto más destacable la mayor proporción de Ca (o de Mg) retenidos por la raíz a medida que en la solución externa hay un predominio de cationes divalentes sobre los monovalentes.

Estación Experimental del Zaidín, C. S. I. C., Granada.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) COIC, Y., LESAIN, C., PROVOT, M. et LE ROUX, F. (1966). Comparaison de l'antagonisme des cations dans la nutrition minérale du maïs et de le tomate. *Ann. Physiol. Vég.*, 8 (2), 87-100.
- (2) COMITÉ INTER-INSTITUTOS PARA EL ESTUDIO DE TÉCNICAS ANALÍTICAS DE DIAGNÓSTICO FOLIAR (1969). Métodos de referencia para la determinación de elementos minerales en vegetales. I. Nitrógeno, Potasio, Fósforo, Calcio, Sodio y Magnesio. *Ann. Edaf. y Agrobiol.*, XXVIII (5-6), 409-31.
- (3) GRUNES, D. L., THOMPSON, J. F., KUBOTA, J. y LAZAR, V. A. (1968). Effect of Mg, K and temperature on growth and composition of *Lolium perenne*. *Trans. Int. Comp. Soil Sci.* 9th. Vol. 2, 597-603.
- (4) EPSTEIN, E. and LEGGETT, J. E. (1954). The absorption of alkaline earth cations by barley roots: Kinetics and mechanism. *Ann. J. Bot.*, 41, 785-791.

- (5) FISHER, K. J. (1967). Specific ion effects of certain excess soluble salts on the growth and development of glasshouse tomatoes grown in nutrient culture. *J. Hort. Sci.*, 42, 243-52.
- (6) GERALDSON, C. M. (1957). Control of blossom-end rot of tomatoes. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 69, 309-17.
- (7) HALJANY, F. (1967). Absorption of potassium and sodium by squash roots in the presence of calcium and magnesium in a nutrient solution. *Stud. Nauch. Rab.*, Univ. Druzhby Nar., 9, 56-9.
- (8) HIATT, A. J. (1970). Anomaly in K accumulation by barley roots. II. Effect of Ca concentration and rubidium-86 labeling. *Plant Physiol.*, 45 (4), 411-414.
- (9) HODGES, J. K. and HANSON, J. B. (1965). Calcium accumulation by maize mitochondria. *Plant Physiol.*, 40, 101-109.
- (10) IVANOV, N. P. (1968). Effect of cations on the uptake of potassium by plants. *Ser. Biyal, Navuk.*, 2, 39-44.
- (11) JOHANSEN, C. EDWARDS, D. G. y LONERAGAN, J. F. (1968). Interactions between potassium and calcium in their absorption by intact barley plants. I. Effects of potassium on calcium absorption. *Plant Physiol.*, 43 (10), 1717-21.
- (12) JOHANSEN, C., EDWARDS, D. G. y LONERAGAN, J. F. (1969). Interactions between potassium and calcium in their absorption by intact barley plant. II. Effects of calcium and potassium concentration on potassium absorption. *Aust. Plant Physiol.*, 43 (10), 1722-6.
- (13) JUSTICE, O. L. (1952). *Agriculture Handbook*. U. S. Department of Agriculture, 30, 89-90.
- (14) KABU, K. L. y TOOP, E. W. (1970). Influence of K-Mg antagonism on tomato plants growth. *Can. J. Plant Sci.*, 50 (6), 711-15.
- (15) KANWAR, J. S. y CHANDHRY, M. L. (1970). Effect of magnesium on uptake of nutrients from the soil. *J. Res., Punjab Agr. Univ.*, 5 (3), 309-19.
- (16) KENEFTICH, D. G. and HANSON, J. B. (1966). Contracted state as an energy source for Ca binding and Ca + inorganic phosphate accumulation by corn mitochondria. *Plant Physiol.*, 41, 1601-1609.
- (17) LACHICA, M., RECALDE, L. and ESTEBAN, E. (1965). Análisis foliar. Métodos analíticos utilizados en la E. E. Z. *Ann. Edafol. y Agrobiol.*, XXIV (9-10), 589-610.
- (18) LEGGETT, J. E. y GILBERT, W. A. (1970). Magnesium uptake by soybeans. *Plant Physiol.*, 44 (8), 1182-6.
- (19) MAXWELL BENTLEY, H. (1959). *Comercial Hydroponics*. Bendon Books (Johannesburg), 605.
- (20) MELLO, F. A. F., HAAG, H. P., BRASIL, M. O. C. y MONTENEGRO, H. W. S. (1966). The potassium, magnesium relations in young citrus trees (*Citrus sinensis*). *Ann. Esc. Super. Agr. «Luiz Quieroz», Univ. Sao Pau'o.* 23 95-107
- (21) PAECH, K. and TRACEY, M. J. (1956). *Modern methods of plant analysis*. Springer Verlag. Berlin (Göttingen), Heidelberg.
- (22) PERKIN-ELMER (1968). *Analytical methods for Atomic Absorption Spectrophotometry*. The Perkin Elmer Corp., USA.
- (23) SACHARRER, K. and MENGEL, K. (1958). Über den Kalium-magnesium-Antagonismus bei Mais und Sonnenblumen. *Zeitschr. Pflanzenern. Düng. Bodenk.*, 83, 149.
- (24) SCHELDECKER, D. and CONNAN, A. (1966). Effect of increasing H concentrations on Ca accumulation and utilization by *Lycopersicum racémigerum*. *C. R. Acad. Sci., Paris, Ser. D.* 263 (20), 1451-4.
- (25) STEINER, A. A. (1961). A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant and Soil*, XV (2), 134-154.
- (26) TRUELOVE, B. and HANSON, J. B. (1966). Calcium-activated phosphate uptake corn mitochondria. *Plant Physiol.*, 41, 1004-1013.
- (27) UDOVENKO, G. V. y IVANOV, N. P. (1964). Potassium uptake by plant from nutrient solutions depending on the composition of the soils. *Fiziol. Rast.*, 11 (4), 638-48.
- (28) WINSOR, G. W., MESSING, J. M. L. and LONG, M. E. I. (1965). The effects of Mg deficiency on the yield and quality of green-house tomatoes grown at 2 levels of K. *J. Hort. Sci.*, 40 (2), 118-32.

EFECTO DE LA PROPORCION K, Ca y Mg EN LA SOLUCION NUTRITIVA SOBRE LA ABSORCION Y DISTRIBUCION DE MICRONUTRIENTES

por

I. AGÜI, M. C. ALVAREZ-TINAUT y L. RECALDE MARTINEZ

SUMMARY

EFFECT OF K, Ca, Mg RATIO IN THE CULTURE SOLUTION IN MICROELEMENT ABSORPTION AND DISTRIBUTION

An experiment has been carried out with tomato plants (Marglobe var.) grown in hydroponics to study the effect of simultaneous variations of the relative ratios of cationic macroelements (K, Ca, Mg), on microelement absorption and distribution.

The results reported here show that cationic equilibrium, although kept within physiologically normal conditions, has a clear effect on microelement distribution. In general, cationic microelements are retained in the root when there is a predominance of divalent (specially Ca) on monovalent cations. B, however, due to its anionic character, does not follow the same behaviour.

In some cases (Fe and Mn) the optimum quantity of microelements migrating to the shoot was obtained when the ratio of monovalent/divalent cations equalled one. Transport of the rest of the microelements is negatively affected only under conditions of extreme cationic disequilibrium.

1. INTRODUCCIÓN

Las interacciones entre macronutrientes catiónicos y micronutrientes han sido muy estudiadas, pero los resultados obtenidos pocas veces son concordantes, llegando en algunos casos a ser contradictorios, lo que no es extraño en vista de las diferentes condiciones en las que se han realizado las experiencias. Esta variabilidad de las condiciones experimentales se refiere a varios aspectos, entre los que destacaremos: a) *Condiciones de cultivo*: muchas experiencias se han realizado en condiciones de campo, mientras otras se han llevado a cabo en cultivos controlados. b) *Nivel de micronutrientes* utilizados: en la mayoría de los casos se han considerado situaciones deficientes o tóxicas, y sólo en algunos casos se han utilizado niveles normales. c) En cuanto al *nivel de macronutrientes*, también se han empleado niveles deficientes o cantidades excesivas: en condiciones de enclado, por ejemplo. d) Por último, en relación a las *medidas realizadas*, conviene aclarar que

en algunas experiencias sólo se ha determinado la cantidad de elemento en una parte de la planta, generalmente en la parte aérea, lo que ha llevado, en algunos casos, a conclusiones erróneas debido a la parcialidad de los resultados obtenidos.

En vista de la gran cantidad de factores que intervienen en las distintas experiencias, es lógico que las explicaciones de los resultados sean muy variadas. Así, en algunos casos, los resultados se atribuyen a un efecto *directo* de los macronutrientes sobre la absorción y/o el transporte de los micronutrientes [por ejemplo en la interacción Ca/Mn (2, 13, 22)], mientras que otras veces se tratan de explicar a través de un efecto *indirecto*, ya que el catión podría actuar: neutralizando la acidez [por ejemplo en las interacciones K/Fe (20) y Ca/Zn (24)] o interaccionando de alguna forma sobre otro elemento aniónico [en el caso del P en las interacciones K/Fe/P (3, 10)] o catiónico [el K actuaría sobre el Ca en la interacción K/B (18)].

Por todo ello nos pareció interesante realizar una experiencia en la que se tuviera una situación experimental perfectamente controlada y siempre dentro de márgenes fisiológicos, ya que consideramos que los resultados obtenidos en condiciones anormales o patológicas no tienen necesariamente que ser extrapolables a condiciones de normalidad. En nuestro caso, pensamos, que los resultados podrán ser atribuidos con más seguridad a la diferente proporción de macronutrientes catiónicos presentes en el medio.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

El material vegetal usado en esta experiencia fue el tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill., var. Marglobe).

El cultivo se realizó en las siguientes etapas:

a) *Imbibición* de la semilla en agua destilada a 25° C durante doce horas.

b) *Germinación* en arena de cuarzo humedecida de acuerdo con la fórmula de Justice. En este período, de cincuenta días de duración, se mantuvo la humedad adecuada por adición de agua destilada durante las dos primeras semanas, y a partir de entonces con solución nutritiva completa diluida a 1/3.

c) *Cultivo hidropónico con solución standard*, con objeto de que las plantas se adaptaran al nuevo medio. Para evitar un exceso de acumulación de nutrientes por parte de las plantas, esta etapa duró doce días y la solución nutritiva se renovó una sola vez.

La solución standard, preparada tomando como base la propuesta por Maxwell Bentley (14), fue la siguiente:

Macroelementos

NO₃⁻ (10 meq/l); PO₄H₂⁻ (6 meq/l); SO₄⁼ (4 meq/l)
K⁺ (4 meq/l); Ca⁺⁺ (8 meq/l); Mg⁺⁺ (8 meq/l)

Microelementos

Fe (4 p.p.m.); Cu, Zn (0,5 p.p.m.); Mn, B (0,05 p.p.m.)

Dicha solución fue ajustada a $\text{pH} = 5,5 \pm 0,2$ siguiendo la técnica de Steiner (19), presentando las siguientes características:

<i>Concentración total de iones</i>	= 30 iones mg/l
<i>Relación aniones/cationes</i>	= 0,95
<i>Presión osmótica</i>	= 0,71 atm.
<i>pH</i>	= $5,5 \pm 0,2$

Las condiciones ambientales de la experiencia fueron:

<i>Fotoperíodo</i>	<i>Temperatura</i>	<i>Humedad relativa</i>
16 h.	<i>diurna</i> : $28^{\circ} \text{C} \pm 2$ <i>nocturna</i> : $19^{\circ} \text{C} \pm 2$	<i>diurna</i> (55 ± 10)% <i>nocturna</i> (85 ± 5)%

El cultivo se realizó en botes de polieteno de 1,5 l. de capacidad a razón de cuatro plantas por bote, manteniendo la solución convenientemente aireada mediante un burbujeo continuo de aire a presión. En todas las manipulaciones se prescindió del material de vidrio para evitar contaminaciones de B.

Durante esta etapa de cultivo se intercambiaron las posiciones de los botes, para que las plantas fuesen lo más homogéneas posible antes de pasarlas a las soluciones diferenciales. Al final de este período, se tomaron ocho botes representativos, que se usaron para ver el tamaño de las plantas al inicio del cultivo diferencial. El peso seco medio por planta resultó de 0,48 g., distribuidos en 0,37 g./vástago y 0,11 g./raíz.

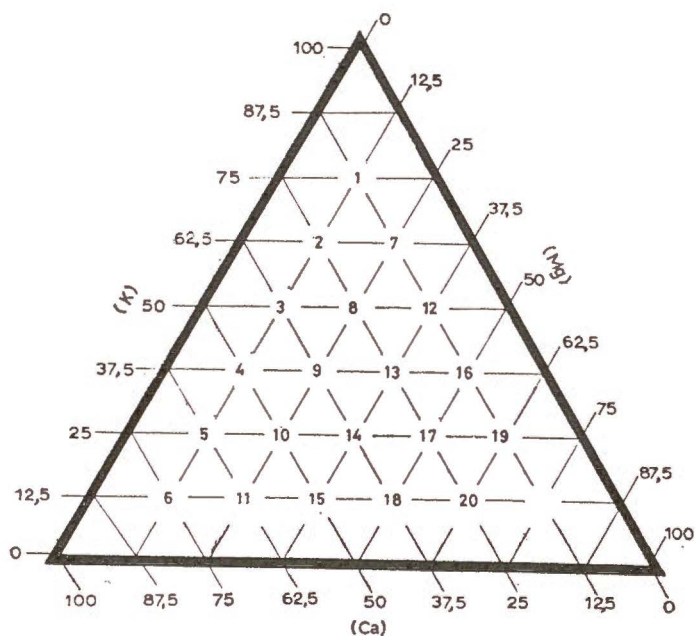
d) *Cultivo hidropónico en soluciones diferenciales.*—En este período, de veinticinco días de duración, se mantuvieron las plantas en las distintas soluciones diferenciales. Dichas soluciones fueron preparadas tomando como base la solución standard de la etapa anterior y variando sistemáticamente las proporciones entre los nutrientes catiónicos (K, Ca, Mg), de acuerdo con un diseño en que se utilizaron 20 proporciones distintas de dichos elementos catiónicos (tabla 2.1).

Todas las soluciones se ajustaron a $\text{pH} 5,5 \pm 0,2$ siguiendo la técnica de Steiner (19), efectuándose el cambio de solución cuando el pH sufría una variación de $\pm 0,5$ unidades.

Cada uno de los Ttos. se repitieron cuatro veces, distribuyéndose en el invernadero en bloques al azar.

TABLA 2.1

Proporciones de macronutrientes catiónicos en la «solución diferencial» correspondientes a cada tratamiento



Las plantas se recolectaron separando en cada tratamiento y repetición, el vástago (tallo + hojas) de la raíz. El material así obtenido se secó en una estufa con corriente forzada de aire a 60° C durante veinticuatro horas, y a continuación se determinó el peso seco.

Las muestras se sometieron a incineración (8), analizándose:

- Fe, Cu, Mn y Zn: Espectrofotometría de absorción atómica (17).
- B: Colorimetría (7, 9).

El crecimiento (de vástago, raíz y planta) se expresó en «gramos de materia seca»; mientras que la distribución del crecimiento viene dada, en cada caso, por el cociente entre los pesos secos respectivos de vástago y raíz.

Los datos analíticos se expresaron en átomos-mg de elemento absorbido por planta, o por sus diferentes partes, y se obtuvieron multiplicando la concentración del elemento en el tejido considerado, por el peso seco correspondiente a dicho tejido. Los datos de distribución de los elementos vienen dados por el cociente entre la absorción del vástago y la raíz. Todos los datos obtenidos han sido ordenados en tablas en las que cada tratamiento tiene la proporción de elementos catiónicos que se indica en la tabla 2.1.

Asimismo, con objeto de individualizar los efectos producidos por cada uno de los elementos catiónicos variables en nuestra experiencia, hemos elaborado unas tablas en las que se consideran los efectos en función del porcentaje de un determinado elemento (K, Ca o Mg) en la solución nutritiva. Esto se ha realizado calculando las medias aritméticas de los efectos producidos por todos los tratamientos que disponían del mismo porcentaje de dicho elemento en la solución nutritiva, prescindiendo en todos los casos de las variaciones de los otros dos elementos.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. *Crecimiento*

El crecimiento de las plantas en esta experiencia fue prácticamente constante para todos los tratamientos, excepto en aquellos que dispusieron de niveles máximos de Ca (tabla 3.1) en los que se aprecia disminución, estadísticamente significativa, del crecimiento del vástago.

3.2. *Absorción y distribución de Hierro*

La tabla 3.2, que recoge la absorción y distribución del Fe en función de los diferentes tratamientos muestra que la distinta proporción de macronutrientes en el medio afecta de forma muy diferente el contenido de Fe presente en las distintas partes de la planta. Así, en el vástago parece muy importante la proporción relativa de K/cationes divalentes (Ca y Mg), de tal forma que los máximos valores se consiguen cuando cationes monovalentes y divalentes en la solución externa se encuentran aproximadamente en equilibrio (tabla 3.2.1).

En la raíz, en cambio, se observa que la mayor proporción de Fe retenido por dicho órgano corresponde a aquellos tratamientos que disponen de una mayor proporción de cationes divalentes sobre los monovalentes. Puesto que los valores de absorción de la raíz son muy superiores a los del vástago, la planta muestra en todo el patrón descrito para la raíz.

La distribución del Fe entre las dos partes de la planta (vástago y raíz) presenta un cuadro muy regular ya que un predominio de cualquiera de ellos disminuye el transporte del Fe al vástago (tabla 3.2). Al considerar el efecto individual de cada uno de los macronutrientes catiónicos (tabla 3.2.1) podemos observar que los óptimos de distribución para cada elemento encajan perfectamente: 25 por 100 de Ca, 25 por 100 de Mg y 50 por 100 de K. El cruce de estos tres niveles, Tto. 8, es, en efecto, donde se obtiene un máximo de transporte de Fe al vástago; por el contrario los mínimos se obtienen cuando se reúnen las condiciones de máximo de Ca y mínimo de K (tablas 3.2 y 3.2.1).

En la bibliografía se indica que el Ca disminuye la absorción de Fe por la planta (6). En cambio, en nuestros resultados se pone claramente de manifiesto que la absorción total de Fe por la planta, aumenta en

estas condiciones. Sin embargo, la mayor parte de este Fe queda inmovilizado en la raíz por lo que pensamos que el efecto del Ca es más bien sobre la distribución del Fe.

TABLA 3.1

Crecimiento y distribución del crecimiento

(Gramos de materia seca y cociente vástago/raíz, respectivamente)
Media de 4 repeticiones

Tto.	Vástago	Raíz	Planta	V/R
1	12,5	2,2	14,7	5,7
2	11,5	1,8	13,3	6,5
3	12,1	1,7	13,7	7,2
4	12,0	1,9	13,9	6,4
5	12,0	2,0	14,0	6,1
6	8,3	2,1	10,4	4,0
7	12,1	1,8	13,9	6,7
8	12,2	1,7	13,9	7,0
9	12,2	1,9	14,1	6,5
10	12,6	2,2	14,8	5,8
11	9,3	2,4	11,7	4,0
12	11,4	1,7	13,1	6,8
13	12,9	2,0	14,9	6,4
14	11,7	2,1	13,8	5,6
15	10,7	2,1	12,8	5,1
16	12,2	1,7	14,0	7,0
17	12,2	2,1	14,3	5,8
18	10,4	2,2	12,6	4,9
19	11,1	1,6	12,6	7,1
20	12,5	2,2	14,6	5,7
5 %	1,3	0,4	1,5	0,7
M. D. S. 1 %	1,8	0,5	2,1	0,9
0,1 %	2,3	0,7	2,7	1,2

En este sentido, conviene destacar que existen algunas referencias de que altos niveles de Ca (así como altos niveles de P), pueden conducir a la inactivación del Fe en las plantas (4).

TABLA 3.2

Absorción y distribución de Hierro

(Átomos-mg y cociente vástago/raíz, respectivamente)

Media de 4 repeticiones

Tto.	Vástago	Raíz	Planta	V/R
1	151	676	827	0,22
2	191	614	805	0,31
3	220	601	821	0,36
4	206	725	931	0,28
5	169	812	981	0,21
6	134	810	944	0,17
7	210	692	902	0,31
8	248	642	890	0,39
9	202	704	906	0,28
10	192	858	1050	0,23
11	157	864	1021	0,18
12	179	662	841	0,27
13	217	685	902	0,32
14	189	750	939	0,25
15	167	721	888	0,23
16	179	641	820	0,28
17	183	858	1041	0,21
18	170	784	954	0,22
19	172	792	964	0,22
20	195	844	1039	0,23
M. S. D. 5 %	42	95	111	0,00
M. S. D. 1 %	57	128	149	0,08
0,1 %	74	168	195	0,11

3.3. *Absorción y distribución de Cobre*

Los datos obtenidos sobre la absorción y distribución de Cu (tabla 3.3) resultan muy homogéneos, de tal manera que se puede concluir que, en general, los distintos Ttos. utilizados no influyen en la cantidad de Cu presente en las distintas partes de la planta. Sólo los Ttos. que disponen de un exceso de Ca parecen afectar de forma clara la cantidad de Cu emigrada al vástago y retenida por la raíz; ahora bien, puesto que esta influencia se manifiesta de forma opuesta en ambas partes de

la planta (disminución del Cu emigrado al vástago y aumento del Cu retenido por la raíz), los valores de distribución en dichos tratamientos resultan significativos.

TABLA 3.2.1

Absorción y distribución de Hierro en función del % de elemento en la solución nutritiva
(Átomos-mg y cociente vástago/raíz, respectivamente)

% elemento en la sol. nutritiva	A b s o r c i ó n						Distribución		
	V á s t a g o			R a í z			K	Ca	Mg
	K	Ca	Mg	K	Ca	Mg			
12.5	165	178	179	805	693	706	0.21	0.26	0.26
25	181	207	202	814	729	752	0.22	0.29	0.28
37.5	201	195	188	689	710	705	0.29	0.28	0.27
50	216	188	177	635	768	761	0.34	0.25	0.24
62.5	201	163	184	653	838	818	0.31	0.20	0.23
75	151	134	—	676	810	—	0.22	0.17	—

3.4. *Absorción y distribución de Manganeso*

La absorción de Mn por la planta parece estar influenciada —de forma débil aunque muy regular— por el equilibrio o proporción relativa de macronutrientes catiónicos en la solución externa (tabla 3.4). Parece incluso, que existe un óptimo bien definido en que la proporción de estos elementos asegura un máximo de absorción de Mn. Los desplazamientos de este óptimo, en cualquier dirección, disminuyen la cantidad de Mn absorbido por la planta. Esta situación no es más que el reflejo de lo que ocurre en el vástago, aunque las diferencias en este último órgano son algo más intensas. La tabla 3.4.1 demuestra de manera concluyente que la cantidad de Mn emigrada al vástago depende de la proporción relativa de K y Ca, mientras el Mg prácticamente carece de efecto. Los valores óptimos se consiguen cuando la proporción K/Ca en el medio es aproximadamente igual a la unidad, siendo este efecto especialmente claro en los niveles más bajos de Mg.

En cuanto a la cantidad de Mn absorbida por la raíz (tablas 3.4 y 3.4.1) parece depender claramente de la relación K/cationes divalentes, creciendo con gran regularidad hacia los valores más bajos de K y más altos de cationes divalentes y dentro de esta situación cuando el Ca predomina sobre el Mg.

TABLA 3.3

Absorción y distribución de Cobre

(Átomos-mg y cociente vástago/raíz, respectivamente)

Media de 4 repeticiones

Tto.	Vástago	Raíz	Planta	V/R
1	10,8	9,9	20,7	1,1
2	16,0	8,9	24,9	1,8
3	13,3	8,2	21,5	1,7
4	14,5	11,5	26,0	1,3
5	13,0	11,2	24,2	1,2
6	8,6	15,4	24,0	0,6
7	11,4	11,0	22,4	1,2
8	12,5	8,6	21,1	1,5
9	14,2	8,7	22,9	1,7
10	16,0	9,5	25,5	1,8
11	12,1	13,9	26,0	0,9
12	14,3	10,1	24,4	1,4
13	14,1	10,0	24,1	1,4
14	16,9	8,6	25,5	2
15	12,9	8,4	21,3	1,6
16	14,8	8,2	23,0	1,9
17	15,2	9,1	24,3	1,7
18	12,3	8,9	21,2	1,4
19	14,3	8,3	22,6	1,8
20	10,2	8,3	18,5	1,4
5 %	5	3	6	0,7
M. D. S. 1 %	7	3	8	0,9
0,1 %	9	5	10	1,2

De acuerdo con lo anteriormente discutido, la distribución del Mn en la planta (tablas 3.4 y 3.4.1) se encuentra claramente afectada por la proporción relativa de macronutrientes catiónicos en el medio. En general, los valores más bajos se obtienen cuando coinciden proporciones muy elevadas de Ca y muy bajas de K.

El efecto individual de cada nutriente catiónico en el medio (tabla 3.4.1), sobre la distribución del Mn entre el vástago y la raíz, tiene características especiales según el elemento considerado. Así, mientras el Mg carece prácticamente de efecto, el K y Ca tienen un efecto bas-

tante claro, aunque de sentido inverso. En efecto, al aumentar la proporción de K (hasta el 37,5 por 100) aumenta rápidamente los valores de distribución, manteniéndose prácticamente estos valores en los niveles más altos de K, excepto en el último (75 por 100) en que se observa

T A B L A 3.4

Absorción y distribución de Manganeso

(Atomos-mg y cociente vástago/raíz, respectivamente)

Media de 4 repeticiones

Tto.	Vástago	Raíz	Planta	V/R
1	158	101	259	1,6
2	194	101	295	1,9
3	220	97	317	2,3
4	218	100	318	2,2
5	146	150	296	1,0
6	113	146	259	0,8
7	182	94	276	2,0
8	205	94	299	2,2
9	216	103	319	2,4
10	188	127	315	1,6
11	125	144	269	0,9
12	182	98	280	1,9
13	212	97	309	2,2
14	198	115	313	1,8
15	157	148	305	1,1
16	191	94	285	2,2
17	204	120	324	1,7
18	175	136	311	1,3
19	175	121	296	1,5
20	169	126	295	1,4
5 %	29	21	26	0,6
M. D. S. 1 %	39	28	35	0,8
0,1 %	52	37	46	1,0

una ligera disminución. El Ca, por el contrario, tiene un comportamiento opuesto, ya que a proporciones débiles asegura una intensa migración al vástago, para luego —a partir del 37,5 por 100 disminuirla considerablemente.

TABLA 3.4.1

Absorción y distribución de Manganeso en función del % de elemento en la solución nutritiva

(Átomos-mg y cociente vástago/raíz, respectivamente)

% elemento en la sol. nutritiva	A b s o r c i ó n						Distribución		
	V á s t a g o			R a í z			K	Ca	Mg
	K	Ca	Mg	K	Ca	Mg			
12.5	148	178	175	140	102	116	1.1	1.8	1.6
25	182	197	183	127	108	112	1.5	1.9	1.8
37.5	209	202	187	99	113	115	2.3	2.0	1.8
50	202	188	190	96	125	117	2.1	1.6	1.7
62.5	188	136	172	98	147	124	2.0	1.0	1.5
75	158	113	—	101	146	—	1.6	0.8	—

Los resultados obtenidos para el Mn, en lo que respecta a que el Ca antagoniza la absorción, pero sobre todo su transporte, están en todo de acuerdo con lo descrito en la bibliografía (2, 13, 22, 23), siendo nuestra aportación el que la interacción haya sido encontrada en condiciones fisiológicas normales y no en condiciones de deficiencia o toxicidad. Por el contrario, en lo que respecta al Mg, nuestros resultados no están de acuerdo con el antagonismo Mg/Mn descrito en la bibliografía (12, 13, 23).

3.5. Absorción y distribución de Cinc

Según podemos observar en la tabla 3.5, la proporción de cationes en la solución nutritiva carece prácticamente de efecto sobre la cantidad total de Zn absorbida por la planta. Sin embargo, como veremos a continuación, determinados Ttos. tienen un efecto claro sobre la cantidad de Zn emigrada al vástago y retenida por la raíz, pero al ser este efecto de sentido contrario no queda reflejado en la planta. Así, la cantidad de Zn que llega al vástago es prácticamente constante en todos los Ttos. excepto en aquellos que disponen de una mayor proporción de Ca, y por consiguiente menor proporción de K y Mg, en que se aprecia una disminución estadísticamente significativa (Ttos. 6 y 11).

Por el contrario, en la raíz se observan diferencias mucho más acusadas que se traducen en un incremento de la cantidad de Zn retenida por la raíz en aquellos tratamientos en los que predominan los cationes divalentes sobre los monovalentes, y dentro de esta situación, en los

tratamientos que disponen de una mayor cantidad de Ca que de Mg, de tal modo que los mayores valores se obtienen cuando el porcentaje de K es mínimo y el porcentaje de Ca es máximo (tabla 3.5.1).

T A B L A 3.5

Absorción y distribución del Zinc

(Atomos-mg y cociente vástago/raíz, respectivamente)

Media de 4 repeticiones

Tto.	Vástago	Raíz	Planta	V/R
1	38,4	8,7	47,1	4,5
2	34,2	7,0	41,2	5,0
3	34,6	6,7	41,3	5,4
4	35,2	8,6	43,8	4,1
5	34,4	11,6	46,0	3,0
6	26,2	15,7	41,9	1,7
7	36,0	6,6	42,6	5,4
8	34,9	6,4	41,3	5,5
9	40,7	9,2	49,9	4,5
10	38,3	9,7	48,0	3,9
11	31,2	14,9	46,1	2,2
12	36,1	6,2	42,3	5,9
13	36,0	7,5	43,5	4,9
14	38,1	8,3	46,4	4,7
15	33,5	9,4	42,9	3,6
16	35,2	6,3	41,5	5,7
17	38,7	8,8	47,5	4,4
18	37,8	10,0	47,8	3,8
19	34,8	6,9	41,7	5,1
20	34,6	10,4	45,0	3,3
5 %	5	2	5	0,9
M. D. S. 1 %	6	3	7	1,2
0,1 %	8	4	9	1,6

Debido a que el efecto de los tratamientos sobre la cantidad de Zn retenida por la raíz es bastante patente, los valores de distribución muestran variaciones importantes. Al considerar el efecto individual de cada uno de los macronutrientes catiónicos (tabla 3.5.1) aparece una situación bastante similar a la anteriormente descrita para el Mn. Así, el Mg no tiene efecto sobre la distribución del Zn, la cual viene determinada.

por la proporción relativa de K y Ca, de tal manera que los valores más bajos de distribución se obtienen cuando hay predominio de Ca sobre K. Conviene destacar que el máximo valor de distribución se obtiene, de nuevo, en el equilibrio entre los cationes divalentes y monovalentes (50 por 100 de K, 25 por 100 de Ca y 25 por 100 de Mg).

TABLA 3.5.1

Absorción y distribución de Zinc en función del % de elemento en la solución nutritiva (Átomos-mg y cociente vástago/raíz, respectivamente)

% elemento en la sol. nutritiva	A b s o r c i ó n						Distribución		
	V á s t a g o			R a í z			K	Ca	Mg
	K	Ca	Mg	K	Ca	Mg			
12.5	32.7	36.1	33.8	12.1	6.9	9.7	2.9	5.3	4.0
25	36.9	35.7	36.2	9.1	8.0	9.4	4.2	4.6	4.3
37.5	37.5	37.8	35.9	7.9	8.6	7.9	4.8	4.6	4.8
50	35.2	35.7	37.2	6.4	9.2	8.4	5.6	3.9	4.6
62.5	35.1	32.8	34.7	6.8	13.3	8.7	5.2	2.6	4.2
75	38.4	26.2	—	8.7	15.7	—	4.5	1.7	—

En la bibliografía se establece que no existe interacción Ca-Zn sino que la disminución del contenido de Zn se debe al aumento del pH (24) o a la presencia del ion fosfato (1, 5). Sin embargo, de acuerdo con nuestros resultados, pensamos que la causa primaria de la retención del Zn, en la raíz, es el exceso de cationes divalentes, esencialmente el exceso de Ca que poseen las raíces en los tratamientos indicados. Esta conclusión está basada en el hecho de que en nuestra experiencia el pH era constante en todos los tratamientos, y la cantidad de P era también prácticamente constante, puesto que la máxima variación (necesaria para mantener las constantes experimentales, como pH, equilibrio aniones/cationes) era de 1 meq/l. No obstante, no descartamos la posibilidad de que esta retención se deba a una coprecipitación, probablemente con el fosfato como anión acompañante.

3.6. Absorción y distribución de Boro

La diferente proporción de macronutrientes en el medio parece determinar ciertas variaciones en los valores de absorción de B (tabla 3.6); sin embargo, estas diferencias no resultan significativas excepto en algunos casos. En el vástago se aprecia que la cantidad de B

es más baja en aquellos tratamientos que disponen de una mayor proporción de Ca.

TABLA 3.6

Absorción y distribución de Boro

(Atomos-mg y cociente vástago/raíz, respectivamente)

Media de 4 repeticiones

Tto.	Vástago	Raíz	Planta	V/R
1	588	60	648	9,7
2	581	53	634	11,9
3	568	49	617	13,5
4	688	51	739	14,7
5	532	44	576	12,3
6	446	47	493	9,6
7	607	44	651	14,1
8	577	36	613	16,3
9	679	41	720	17,0
10	617	44	661	14,7
11	553	42	595	13,3
12	583	42	625	15,7
13	598	45	643	14,0
14	631	46	677	14,3
15	604	47	651	13,4
16	598	49	647	12,9
17	680	68	748	10,6
18	608	59	667	10,2
19	574	48	622	11,8
20	650	76	726	8,4
5 %	128	19	157	4,6
M. D. S. 1 %	171	25	210	6,1
0,1 %	225	33	275	8,0

En la raíz, en cambio, la situación resulta muy compleja, siendo los valores, en general, bastante homogéneos excepto en los tratamientos 1 y 20 en que dichos valores se ven incrementados, incrementos que no resultan fácil de interpretar. Los valores de distribución reflejan la situación discutida anteriormente: se observan algunas diferencias,

que no resultan significativas salvo en los tratamientos comentados (Ttos. 1, 6 y 20).

Es de destacar, sin embargo, que aunque los valores de distribución no sean claramente significativos, los máximos valores se obtienen cuando existe un equilibrio entre los macronutrientes catiónicos; cosa que no es de extrañar dada la tendencia general de los micronutrientes a mostrar este comportamiento.

La interacción Ca-B es ya clásica en la literatura, y aunque los resultados no siempre son concordantes, parece existir cierta tendencia a admitir que el Ca antagoniza la absorción del B (1, 15, 18) y el transporte (21). Se ha discutido, sin embargo, que dicha interacción sólo se pondría de manifiesto cuando los niveles de B estuviesen fuera de la normalidad (16, 18). Nuestros resultados, sin embargo, indican la existencia de una interacción, aun cuando los niveles de B fueran en todo momento normales, en los que coincidimos con Tanaka (21).

Pensamos que este menor contenido de B, provocado por el exceso de Ca, podía ser responsable del menor crecimiento del vástago observado en dichos tratamientos.

4. CONCLUSIONES

Los resultados anteriormente descritos ponen de manifiesto que el equilibrio catiónico en la solución nutritiva afecta de forma diferente las distintas partes de la planta:

A) En el *vástago*.—La cantidad de Fe y Mn que emigran a este órgano está regulada por la proporción de macronutrientes catiónicos del medio, de tal forma que los máximos valores se consiguen cuando hay equilibrio entre cationes divalentes/monovalentes.

Las cantidades de Cu, Zn y B del vástago, en cambio, son bastante independientes del equilibrio catiónico, pues sólo se ven afectadas, de forma negativa, cuando existe un exceso de Ca respecto a los otros cationes.

B) En la *raíz*.—Hay que distinguir entre macronutrientes catiónicos y aniónicos. Los del primer grupo (sobre todo Fe, Mn y Zn) muestran una clara tendencia a quedar retenidos en la raíz cuando la proporción de cationes divalentes excede a los monovalentes, y dentro de esta situación, cuando es el Ca el catión predominante. En el caso del Cu, esta tendencia sólo se manifiesta en los tratamientos extremos.

En relación al B se observa que no presenta, en absoluto, esa tendencia a quedar retenido en la raíz en las anteriores circunstancias, cosa lógica si consideramos que el B es un elemento aniónico.

Por último, cabe destacar que el Mg es, de los tres macroelementos catiónicos, el que menos influencia ejerce sobre la absorción y distribución de los microelementos, siendo por tanto, la elevada proporción de Ca, en relación a la de K, la principal causa de las variaciones observadas.

RESUMEN

Se ha realizado una experiencia con plantas de tomate (var. Marglobe) cultivadas en hidropónicos para tratar de comprobar el efecto que la variación simultánea de las proporciones de los macroelementos catiónicos (K, Ca, Mg) en la solución nutritiva ejercen sobre absorción y distribución de los micronutrientes.

Los resultados obtenidos indican que el equilibrio catiónico, aun manteniéndose dentro de condiciones fisiológicas normales, tiene un claro efecto sobre la distribución de los microelementos. En general, los micronutrientes catiónicos quedan retenidos en la raíz cuando hay predominio de cationes divalentes (especialmente de Ca) sobre monovalentes; mientras que el B, por ser aniónico, no sigue este comportamiento.

En algunos casos (Fe y Mn), la cantidad óptima de microelementos emigrada al vástago se consigue cuando la relación cationes monovalentes/divalentes es igual a la unidad. El transporte de los demás micronutrientes sólo se afecta negativamente bajo condiciones de extremo desequilibrio catiónico.

*Estación Experimental del Zaidín
C. S. I. C., Granada*

BIBLIOGRAFÍA

- (1) BINGHAM, F. T., MARTIN, J. P. and CHASTAIN, J. A. (1958). Effect of phosphorus fertilization of California soils on minor element nutrition of Citrus. *Soil Sci.*, 86, 24-31.
- (2) BOLLE-JONES, E. W. (1955). The effect of varied nutrient levels on the concentration and distribution of manganese within the potato plant. *Plant and Soil*, 6, 45-60.
- (3) BOLLE-JONES, E. W. (1955). The interrelationships of iron and potassium in the potato plant. *Plant and Soil*, 6, 129-173.
- (4) BROWN, J. C., HOLMES, R. S. and TIFFIN, L. O. (1959). Hypothesis concerning iron chlorosis. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 23, 231-234.
- (5) BROWN, A. I., KRANTZ, B. A. and EDDINGS, J. L. (1970). Zn-P interactions as measured by plants response and soil analysis. *Soil Sci.*, 110 (6), 415-420.
- (6) BROWN, J. C. and TIFFIN, L. O. (1960). Iron chlorosis in soybeans as related to the genotype of rootstock: 2. A relationship between susceptibility to chlorosis and capacity to absorb iron from iron chelate. *Soil Sci.*, 89, 8-15.
- (7) CAPITÁN, F. y LACHICA, M. (1963). Estequiometría del complejo Carmin-Boro. *Ars. Pharm.*, IV (3), 255-260.
- (8) COMITÉ INTER-INSTITUTOS PARA ESTUDIOS DE TÉCNICAS ANALÍTICAS DE DIAGNÓSTICO FOLIAR (1969). Métodos de referencias para la determinación de elementos minerales en vegetales. I. Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Sodio, Calcio y Magnesio. *Ann. Edaf. y Agrobiol.*, XXVIII (5-6), 409-31.
- (9) HATCHER, J. T. and WILCOX, L. V. (1950). Colorimetric determination of Boron using Carmin. *Ann. Chem.* 22 (4), 567-569.
- (10) HEWITT, E. J. and BOLLE-JONES, E. W. (1953). Studies in iron deficiency of crops. II. The interrelationships of iron and potassium in the potato plant. *J. Hort. Sci.*, 28, 185-195.
- (11) JUSTICE, O. L. (1952). *Agriculture Handbook*. U. S. Department of Agriculture, 30, 89-90.
- (12) LOHNIS, M. P. (1960). Effect of magnesium and calcium supply on the uptake of manganese by various crop plants. *Plant and Soil.*, 12, 339-376.
- (13) MAAS, E. V., MOORE, D. P. and MASON, B. J. (1969). Influence of Ca and Mg on Mn absorption. *Plant Physiol.*, 44 (6), 796-800.
- (14) MAXWELL BENTLEY, H. (1959). *Comercial Hydroponics*. Bendon Books (Johannesburg), 605 pp.
- (15) McILRATH, W. J. and BRUYN, J. A. (1956). Calcium-boron relationships in siberian millet. *Soil Sci.*, 81, 301-310.
- (16) PATEL, N. K. (1966). Effect of various Ca-B ratios on the growth and chemical

- composition ofromatic strain of Biditobacco (*Nicotiana tabaccum*). J. Indiam Soc. Soil Sci., 14 (4), 241-51.
- (17) PERKIN-ELMER (1968). Analytical methods for Atomic Absorption Spectrophotometry. The Perkin Elmer Corp. USA.
- (18) REEVE, E. and SHIVE, J. W. (1944). Potassium-boron and calcium-boron relationships in plant nutrition. Soil Sci., 57, 1-15.
- (19) STEINER, A. A. (1961). A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. Plant and Soil, XV (2), 134-154.
- (20) TADANO, T. and TANAKA, A. (1970). Iron nutrition of the rice plant. I. Iron absorption affected by K status of the plant (Hokkaido Univ. Sapporo, Japan). Nipon Dojo-Hiryogaku Zasshi, 41 (4), 142-8.
- (21) TANAKA, H. (1967). Boron absorption by crop plant as affected by other nutrients of the medium. Soil Sci. Plant Nut., 13 (2), 41-44.
- (22) VAN DIEST, A. and SCHUFFELEN, A. C. (1967). Uptake of manganese by oats and sunflower. Soil Chem. Fert. (Jacks, G. V. Inst. Soc. Soil Sci., Amsterdam, Neth). Trans. 1966, 281-8.
- (23) VLAMIS, J. and WILLIAMS, D. E. (1962). Ion competition in manganese uptake by barley plants. Plant Physiol., 37, 650.
- (24) WEAR, J. I. (1956). Effect of soil pH and Ca on uptake of Zn by plant. Soil Sci., 81, 311-15.

Recibido para publicación: 29-VII-77

EVOLUCION DEL PROCESO DE BIOSINTESIS PROTEICA A TRAVES DE LA COMPOSICION DE AMINOACIDOS LIBRES EN SAVIA DE TOMATERA

p o r

V. HERNANDO, P. BUENADICHA y M. TORRES

S U M M A R Y

PROTEINIC BIOSYNTHESIS THROUGH OF THE COMPOSITION OF FREE AMINO ACIDS IN THE SAP OF TOMATO PLANTS

Development of peptidic biosynthesis in the sap of tomato plants through the composition of free amino acids.

The production of amino acids in the sap of tomato plants manured with an optimal level of boron (0.5 p. p. m.) has been studied in three moments of their vegetative cycle: when the floral bud appears (BFI), when the blooming begins (FI) and in the moments of fructification (Fr), obtaining the following results:

It has been observed a steady decrease of each amino acid during the three vegetative stages. This decrease is mainly due, and according to our own criteria, to the amino acids peptization process, and it represents, in mean values, a 49 % of synthesis from the first to the second stage, and of a 38 % from the second to the third. However, Hist seems to synthesize totally in the BFI stage; nearly a 70 % of Glu, Asp, Tyr and Gly seem to do it in the same stage, and Pro, α -Ala and Lys in a 25 %, 5 % and 28 % respectively, delaying accordingly their integration in the Fr stage. This different integration speed may be an indication of grouping into different kinds of proteins, according to the diverse anatomic and physiologic specificities.

An interpretation of the increase of Glu-n in the FI stage is given, and it is confirmed the lack of Citrulline what had already been observed in our samples manured with an optimal level of boron (0.5 p. p. m.), in a former work by the same searchers.

En un trabajo anterior de Hernando, Buenadicha y Torres (1975) nos ocupábamos del estudio de la composición en aminoácidos libres de savia de plantas de tomates tratadas con diversas dosis del oligoelemento boro. En él tratábamos de estudiar el efecto que sobre la composición en aminoácidos libres ejercían diversas dosis de B: unas marcadamente deficientes, tóxicas otras y otra considerada óptima, la de 0,5 p. p. m., según un estudio realizado por Hernando y Cadahia (1973), basándose en que, con esta dosis, el desarrollo de los órganos citados, botón floral, flor y fruto, ocurría antes y en proporciones mayores al desarrollo producido cuando se abonaba con dosis excesivas o deficientes de boro.

En la presente publicación presentamos los resultados del análisis

de aminoácidos libres y consideraciones obtenidas de un experimento realizado sobre savia de tomateras, cultivadas en macetas con arena lavada como soporte de cultivo, y abonadas con la misma solución nutritiva a la que se agregaba la dosis considerada óptima de boro (0,5 p. p. m.), pero con tomas de muestra realizadas en distintos estadios de desarrollo, conforme al planteamiento siguiente:

- Muestra 1: al comienzo de los botones florales (BF1)
- » 2: al comienzo de la floración (Fl)
- » 3: al comienzo de la fructificación (Fr).

Los botones florales o yemas (BF1) aparecían entre veinte o treinta días después del trasplante de las plántulas nacidas en invernadero a la maceta de arena lavada, que era el soporte de cultivo.

La flor (Fl) hacía su aparición unos diez días después del BF1.

Como comienzo de fructificación (Fr) tomábamos cuando el tomate tenía un diámetro aproximado de 1 cm. y que venía a coincidir con unos veinte o treinta días después del BF1.

La hora para la toma de muestras se eligió la de las diez de la mañana, hora intermedia en la intensidad de luz solar.

La época del trasplante fue en los primeros días de abril.

De cada una de estas muestras se hicieron seis repeticiones, en total dieciocho tiestos en todo iguales, con la sola variación de haberse recolectado en tres grupos, cada uno de éstos en los distintos momentos vegetativos antes indicados.

El estudio de la fracción de aminoácidos libres de estos tres grupos nos podría dar orientación sobre su riqueza o concentración en cada estadio del ciclo y, quizás, sobre la evolución de su síntesis en proteínas.

MATERIAL Y TÉCNICAS

Se ha trabajado con savia obtenida por presión en una miniprensa, diseñada en este Departamento, de los peciolos enteros.

La toma de muestras y transporte en frío, obtención de savia, inactivación de ésta por el calor, la retención de los aminoácidos libres en columnas de Amberlita IR-120 e IR-4 sucesivamente, el desplazamiento en las columnas de los aminoácidos con amoniaco al 2,8 por 100 y con ClH 0,03 N respectivamente; resolución por electroforesis-cromatografía; coloración y cuantificación, por medio de un densitómetro, de los aminoácidos resueltos, son técnicas que quedan recogidas en la publicación de Hernando, Buenadicha y Torres (1975).

RESULTADOS

En la tabla I se ofrecen los resultados, en forma comparada, obtenidos en cada uno de los momentos del desarrollo vegetativo, que han sido gráficamente llevados al histograma núm. 1.

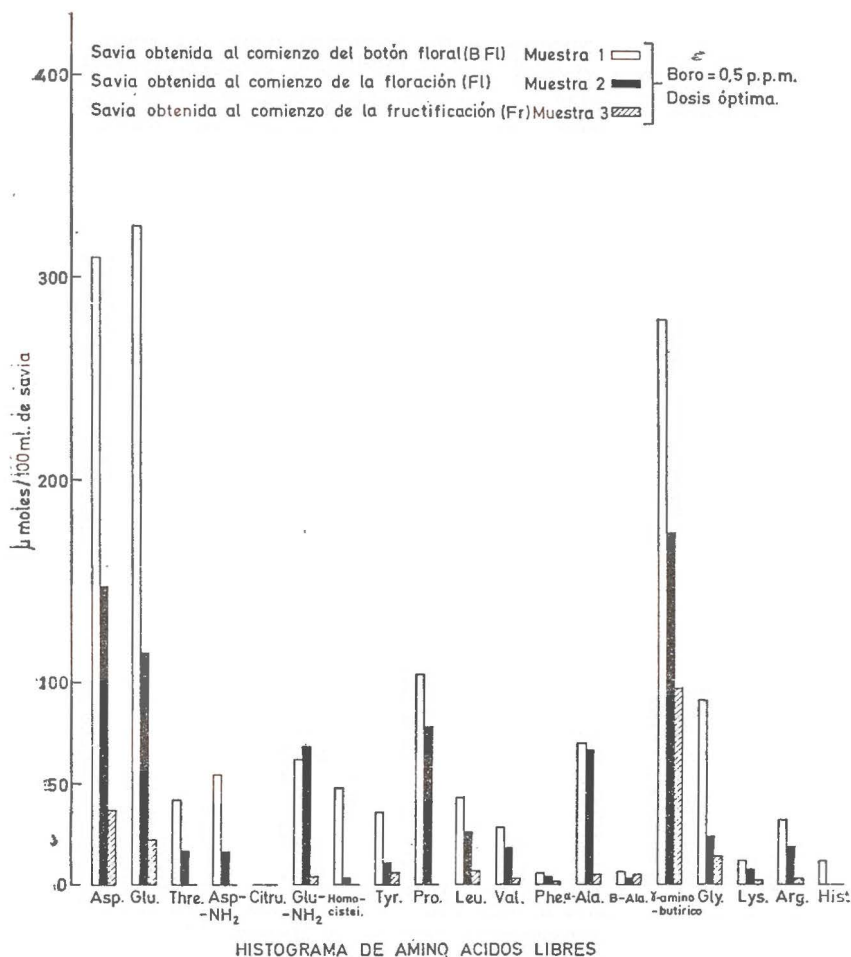


Fig. 1

DISCUSIÓN

Al comparar el histograma de los resultados, correspondientes a la dosis normal de B en las tres fases del ciclo vegetativo (al comienzo del botón floral, de la floración y de la fructificación), muy marcadamente se puede apreciar una disminución de aminoácidos libres según se avanza en el desarrollo vegetativo (ver tabla I y figura 1).

Esta disminución progresiva de aminoácidos libres puede estar motivada por las siguientes causas:

- a) Porque van integrándose en un proceso de síntesis proteica.
- b) Porque va progresivamente disminuyendo la producción de ami-

noácidos en hojas, raíces y otros órganos, con la consiguiente disminución en la savia.

- c) Porque van localizándose en un órgano determinado de la planta.
- d) Por la conjunción de todas estas causas.

En favor de la primera de ellas, es decir, de un proceso proteosintético pueden aducirse las siguientes razones:

Primero.—La relación Asp + Asp_n/Glu + Glu_n tiene un cociente menor de uno en las fases de BF1 y F1. Lo cual es indicio de sentido anabólico en el metabolismo de proteínas, conforme a nuestro trabajo Hernando, V., Buenadicha, P. y Torres, M. (1975), apoyado además en los estudios de Adams, C. A. (1966), Crane y Steward (1962), Chibnall (1963), MacLeod y Michio (1966) y Reithel.

Segundo.—Solamente en γ -AB y β -ala, que no suelen formar parte de las proteínas (Karlson, P., 1962 y Mulder, E. G., 1956), su % sobre el total de los aminoácidos va creciendo en las tres fases. Lo cual es otro argumento para pensar que la disminución del % del total de los demás aminoácidos se debe a un proceso de síntesis. Ya que, si fuera originado por una disminución progresiva de la producción de aminoácidos en hojas, raíces y otros órganos (posible causa b), paralelamente se produciría una disminución del % de γ -AB y β -ala, por ser estos productos de la descarboxilación de Glu y Asp respectivamente (Champigny, M. L., 1957). Por el contrario, el % de γ -AB y β -ala va progresivamente en aumento, aunque su valor absoluto va disminuyendo a medida que disminuyen sus progenitores Glu y Asp, si bien en un porcentaje menor que éstos, dado que γ -AB y β -ala no se proteinizan.

En la fase F1 se aprecia un aumento de Glu_n tanto en el valor absoluto, caso único en la tabla I, como en el porcentaje sobre el total, a pesar del sentido anabólico en esta fase. Esto puede interpretarse debido a que la gran cantidad de amoníaco procedente de la raíz en esta fase de F1 fuerza, como protección contra posibles intoxicaciones de la planta, una producción de Glu_n desproporcionada, que compensa con creces el desgaste provocado por el anabolismo. Cantidad que en la siguiente fase de Fr desciende bruscamente.

En cuanto a la causa c), disminución de aminoácidos libres en la savia de los peciololes porque el caudal que afluye a éstos pase y se localice en otro órgano, no parece tener influjo, pues ello supondría admitir que solo eran retenidos en los peciololes γ -AB y β -ala, que son los que presentan un porcentaje progresivamente en aumento. Hay, por tanto, poco o ningún fundamento para pensar en esta retención selectiva.

Más bien puede pensarse en la causa d), es decir, en una conjunción de varios factores. Es muy posible que, con la evolución progresiva del desarrollo del vegetal, aparezca una producción cualitativa y cuantitativa distinta de aminoácidos en los diversos centros de síntesis de éstos, raíces y hojas principalmente. Y que esta distinta producción influya en las cantidades detectadas en la savia de los peciololes. Pero lo que no puede negarse, a la vista de los razonamientos apuntados en los párrafos anteriores, es que la disminución progresiva apreciada

T A B L A I

Composición de aminoácidos de savia de peciolo de tomatera en distintos estados de desarrollo: Aparición del botón floral (BFl), floración (Fl) y fructificación (Fr)

Amino ácidos	BFl		Fl		Fr	
	μ moles en 100 ml. de savia	% del total de a. ácidos	μ moles en 100 ml. de savia	% del total de a. ácidos	μ moles en 100 ml. de savia	% del total de a. ácidos
Aspártico (Asp).....	310 (100%)	19,9	147 (47,4%)	18,4	37 (12,0%)	18,0
Glutámico (Glu).....	325 (» »)	20,8	115 (35,3)	14,4	22 (6,7)	10,7
Treonina (Thr).....	42 (» »)	2,7	17 (40,4)	2,1	— (0,0)	—
Asparagina (Asp-n)....	54 (» »)	3,5	16 (29,6)	2,0	— (0,0)	—
Gitrulina (Gitrú).....	—	—	—	—	—	—
Glutamina (Glu-n).....	62 (» »)	4,0	68 (109,6)	8,5	3 (4,8)	1,5
Homocisteina (Homoc)..	48 (» »)	3,1	3 (6,2)	0,4	—	—
Tirosina (Tyr).....	36 (» »)	2,3	11 (30,5)	1,4	6 (16,6)	2,9
Prolina (Pro).....	104 (» »)	6,7	78 (75,0)	9,8	—	—
Leucina (Leu).....	43 (» »)	2,8	26 (60,4)	3,3	7 (16,2)	3,4
Valina (Val).....	28 (» »)	1,8	19 (67,8)	2,4	3 (10,7)	1,5
Fenilalanina (Phe).....	6 (» »)	0,4	4 (66,6)	0,5	1 (16,6)	0,5
α-alamina (α-ala).....	70 (» »)	4,5	67 (95,7)	8,4	5 (7,1)	2,4
β-alamina (β-ala).....	7 (» »)	0,4	3 (42,8)	0,4	5 (71,4)	2,4
γ-aminobutírico (γ-AB)..	279 (» »)	17,9	173 (62,0)	21,7	97 (34,7)	47,3
Glicina (Gly).....	92 (» »)	5,9	24 (26,0)	3,0	14 (15,2)	6,8
Lisina (Lys).....	11 (» »)	0,7	8 (72,7)	1,0	2 (18,1)	1,0
Arginina (Arg).....	32 (» »)	2,0	19 (59,3)	2,4	8 (9,3)	1,5
Histidina (Hist).....	12 (» »)	0,8	—	—	—	—
TOTAL.....	1.561	100,0	798	100,0	205	100,0

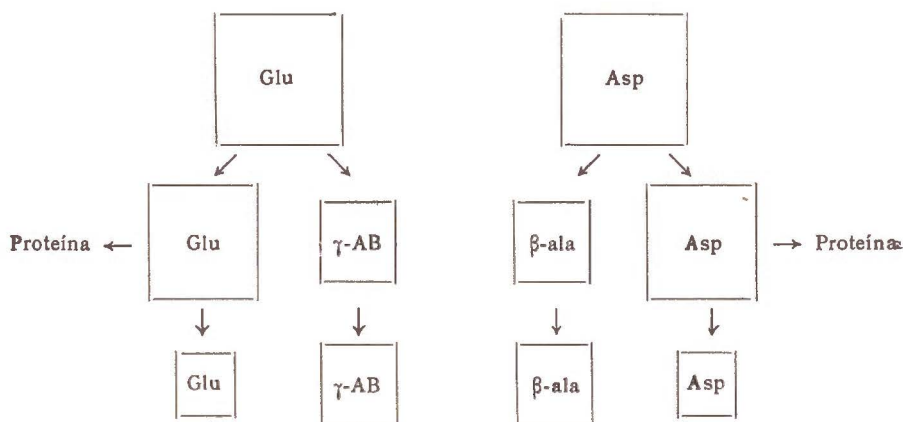
Volumen de savia recogido: 4 ml., cuyos aminoácidos quedaron disueltos en agua hasta 2 ml., de donde se tomaron para cada determinación 40 μl.

En cada fase de desarrollo, detrás de la cifra de μ moles/100 ml., entre paréntesis, se representa el % de cada aminoácido que no ha pasado a la fracción proteica con respecto a la primera toma (BFl).

En la columna % del total, figura el porcentaje de cada aminoácido sobre el total de aminoácidos de su fase.

en la savia, en parte, es debida a un proceso de síntesis proteica. Y para interpretar el distinto resultado encontrado en la cuantificación de β -ala y γ -AB y los demás aminoácidos, aducimos la siguiente interpretación:

El caudal de aminoácidos libres, a medida que se va produciendo la síntesis de proteínas, va disminuyendo tanto en valor absoluto como en porcentaje del total de aminoácidos en cada estadio. El γ -AB y la β -ala, que no entran en la composición de proteínas, disminuyen en valor absoluto porque el Glu y Asp, de los que aquellos respectivamente proceden, van también disminuyendo a medida que van incorporándose a una proteína o un péptido. Pero, tanto el γ -AB como la β -ala no experimentan esta incorporación, por lo que su disminución es menor que la de los aminoácidos que se sintetizan y, por tanto, su porcentaje sobre el total de aminoácidos va en aumento.



En cuanto a velocidad media de integración en polipéptidos o proteínas, como puede apreciarse por la tabla II, de la primera a la segunda fase de desarrollo, es decir, de BF1 a F1 se sintetizarían el 49 por 100 de los aminoácidos totales, quedando libres el 51 por 100. Y de F1 a Fr el 38 por 100. Quedando un 13 por 100 sin sintetizar.

TABLA II

Muestra	Aminoácidos totales	μ mol./100 ml. de savia %
1 (BF1)	1561	(100)
2 (F1)	798	(51)
3 (Fr)	205	(13)

En cambio si consultamos en la tabla I los μ moles de cada aminoácido por 100 ml. de savia en cada una de las fases, se aprecian fuertes desviaciones en uno u otro sentido en la velocidad media de integra-

ción. Así, mientras His libre solamente aparece en el BFl, Glu, Asp-n, Homocisteína, Tyr y Gly parece que tienden a sintetizarse preferentemente en la fase de Fl en la cual se han quedado reducidos a alrededor de un 30 por 100. Por el contrario, Pro, α -ala y Lys se reducen en Fl solo al 75 por 100, 95 por 100 y 72 por 100 respectivamente, retrasando su integración a la fase del Fr. Lo cual pudiera ser indicio de integración de los distintos aminoácidos en diversas clases de proteínas dependiendo de las funciones anatómicas o fisiológicas que cada proteína tenga que cubrir en las variadas partes del vegetal.

Finalmente se confirma la ausencia de citrulina en todas las muestras, todas ellas abonadas con dosis de 0,5 p. p. m. de boro. Efecto ya observado en nuestra publicación anteriormente citada Hernando, V., Buenadicha, P. y Torres, M. (1975).

RESUMEN

La producción de aminoácidos en savia de tomatas abonadas con niveles óptimos de boro (0,5 ppm.) se ha estudiado en tres fases o momentos del desarrollo vegetativo: Al principio del botón floral (BFl), al comienzo de la floración (Fl) y al iniciarse el fruto (Fr), con los siguientes resultados:

Se aprecia un decrecimiento progresivo de aminoácidos libres a medida que avanza el desarrollo de la planta. Según nuestro criterio, este decrecimiento es debido principalmente a un proceso de peptización y representa, en valores medios, un 49 por 100 en el tramo de BFl a Fl y un 38 por 100 en el de ésta a Fr. Sin embargo, Hist parece sintetizarse totalmente en la fase de BFl; Glu, Asp-n, Tyr y Gly parecen hacerlo en alrededor de un 70 por 100 en el mismo tramo, y Pro, α -ala y Lys en un 25 por 100, 5 por 100 y 28 por 100 respectivamente, retrasando, por tanto, su integración a la fase de Fr. Esta distinta velocidad de integración puede ser indicio de agruparse en diversas clases de proteínas según las distintas especificidades anatómicas o fisiológicas.

Se da una interpretación al aumento de Glu-n en la fase de Fl. Y se confirma la ausencia de Citrulina, observación ya acusada para las muestras abonadas con dosis óptima de 0,5 ppm. de boro, en un trabajo anterior de los mismos investigadores.

*Departamento de Fertilidad de Suelos y Nutrición Vegetal
del Instituto de Edafología y Biología Vegetal de Madrid.*

BIBLIOGRAFÍA

- ADAMS, C. A. et SHEARD, R. W. (1966). Alterations in the nitrogen metabolism of *Medicago sativa* and *Dactylis glomerata* as influenced by potassium and sulfur nutrition. *Can. J. Plant Sci.*, 46, 671-680.
- CRANE, F. A. and STEWARD, F. C. (1962). Growth, nutrition and metabolism of *Mentha piperita* L. Parts IV and V Cornell University Memoir, 379, 63-130.
- CHAMPIGNY, M. L. (1957). *Bull. Soc. fr. Physiol. Veg.*, 3, 13-14.
- CHIBNALL, A. C., REES, M. W. et LUZZ, J. W. H. (1963). The amino acid composition of leaf proteins. *J. Sci. Fd. Agr.*, 14, 234-239.
- HERNANDO, V., BUENADICHA, P. y TORRES, M. (1975). Composition in free amino acids of sap from tomato plants treated with different levels of boron. *Agrochimica*, 19 (5), 367-373.
- HERNANDO, V. y CADAHIA, C. (1973). Análisis de savia como índice de fertilización. Editorial C. S. I. C., Madrid.
- KARLSON, P. (1962). *Kurzes Lehrbuch del Biochemie* (Georg Thieme Verlag. Stuttgart).
- MAC LEOD, L. B. et MICHIO SUZUKI. (1966). Effect of potassium on the content of amino acids in Alfalfa and Orchard grass grown with NO_3^- and NH_4^+ nitrogen in nutrient solution culture. *Crop Science*, 7, 599-605.
- MULDER, E. G. and BAKEMA, K. (1956). *Plant and Soil*, VII, 2, 135.
- REITHEL, F. J. (1967). *Biochemical concepts*. (Mc. Graw-Hill ed.) Metabolism of amino acids. XI chapter, 199.

Recibido para publicación: 10-X-77

CORRELACIONES ENTRE BIOELEMENTOS EN ESPECIES PRATENSES BAJO LOS EFECTOS DE LA MADUREZ

I. LEGUMINOSAS

por

A. VALDES AMADO, B. GARCIA CRIADO y J. M. GOMEZ GUTIERREZ

SUMMARY

CORRELATIONS BETWEEN BIOELEMENTS IN FORAGE SPECIES UNDER THE EFFECTS OF MATURITY. I. LEGUMES

In this paper existing correlations between concentrations of N, P, K, Na, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu y Zn in three forage species (*Medicago sativa* «Europe FD-100», *Trifolium pratense* «commercial», and *Trifolium repens* «C. P. I. 19434») are studied. In these primary growth was controlled for two years taking cuts every thirty days during the first year and cuts every ten days during the second one.

Correlations range from specie to specie and also from the first year to the second for the same specie so that only *M. sativa* offers common correlations for both years. Such variability, which shows some unbalance between nutrients, prevents an agreement of the results between the different species and thus only two correlations common to the three studied species (N-P, and Na-Mn) have been found in the second controlled period. Apparently the plants get a better nutritional balance along this year together with a higher adaptation to the environment where they had been placed.

INTRODUCCIÓN

La composición mineral de una planta es algo que está variando continuamente como resultado de la incidencia de un gran número de factores que están actuando sobre ella: unos relacionados con el suelo, el clima y la estación, otros ligados a la intervención humana (fertilización y frecuencia de corte) y por fin otros que dependen de la misma planta, como la madurez o el estado de crecimiento. Al intentar estudiar uno a uno estos factores han de tenerse en cuenta los efectos de los demás, ya que no actúan independientemente.

No hay duda de que el estado de crecimiento es uno de los factores que más influyen en la composición mineral de la hierba. Este cambio en la concentración de nutrientes con la edad es debido, probablemente, tanto a la variación en el contenido de nutrientes de cada tejido a lo largo del tiempo, como al cambio que experimentan las proporciones de unos órganos a otros en las plantas (Bates (1), Fleming (7)).

Este problema ha sido estudiado por numerosos autores (entre los cuales cabría citar a Beeson y McDonald (2), Thomas y cols. (15), Van Riper y Smith (16), Pumphrey y Moore (14), Fleming y Murphy (6), Whitehead y Jones (18), entre otros), obteniéndose una gran diversidad de modelos para el comportamiento de los distintos elementos en las diferentes especies. Aunque la tendencia general parece ser un descenso en los contenidos minerales con la edad, hay también algunos elementos que aumentan a medida que avanza el desarrollo de la planta, dándose los mayores contenidos en los estados posteriores de desarrollo (Zn y B), mientras que otros se comportan de una u otra forma según la especie vegetal estudiada (Fe y Co). Por fin hay algunos, como el Ca, que no siempre presentan una tendencia clara.

En un trabajo anterior (García y cols. (12)), realizado sobre especies frecuentes en comunidades naturales de la provincia de Salamanca, se justificaba el estudio de las posibles correlaciones existentes entre los contenidos de nutrientes minerales por considerarlas mejores indicadores del estado nutritivo de la planta que las concentraciones absolutas, a la vez que otro posible factor de variación, ya que las correlaciones pueden indicar la existencia de interacciones. En esta misma línea, se plantea en el presente trabajo el estudio de esas correlaciones, a lo largo del crecimiento primario, en tres especies pratenses.

MATERIAL Y MÉTODOS

En trabajos preliminares (García y Gómez (9) y (10); García y cols. (8) y García y García (11) ya se han expuesto las condiciones experimentales y los controles llevados a cabo en la realización de este estudio.

En lo que aquí se refiere, conviene señalar que el estudio se centra en tres de las diez especies allí utilizadas. Estas especies fueron: Alfalfa (*Medicago sativa* «Europe FD 100»), Trébol violeta (*Trifolium pratense* «comercial») y Trébol blanco (*Trifolium repens* «C. P. I. 19434»), en las cuales se controló el crecimiento primario, durante dos años consecutivos, realizando cortes cada treinta días en el primer año (cinco muestras por especie) y cada diez en el segundo (nueve muestras por especie). En cada ocasión se midió el crecimiento de estas plantas y la sustancia seca proporcionada y, en sus muestras, se determinaron los contenidos de: cenizas, N, P, K, Na, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu y Zn. En estas determinaciones se utilizaron los métodos de análisis propuestos por Duque (4).

Los datos procedentes del análisis químico fueron sometidos a un análisis de regresión lineal simple, utilizando un ordenador UNIVAC 1108 del Ministerio de Educación y Ciencia, a través de la terminal del Centro de Cálculo de la Universidad de Salamanca, y un programa confeccionado para tal fin.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las tablas I, II y III se han recogido los valores extremos y medios, las desviaciones típicas y los coeficientes de variación de las varia-

bles controladas a lo largo del crecimiento primario, durante dos años consecutivos, en las tres especies estudiadas. Observando y comparando estas tablas pueden encontrarse ciertos aspectos comunes a las tres especies:

Ampliación del intervalo de valores de las concentraciones de N y Na para el segundo año en los tres casos y también de las de P y Mn (excepto en *M. sativa*), Zn (salvo en *T. repens*) y Cu (excepto en *T. pratense*). Por el contrario, se produce un estrechamiento del intervalo de valores de la concentración de Fe para el segundo año en las tres especies e igualmente ocurre para K, Ca y Mg, si exceptuamos la especie *T. pratense*.

Los valores medios de la concentración de N son siempre más altos durante el segundo año e igualmente tienden a ser más altos en ese período los de P (excepto en *T. repens*) y los de Mg (excepto en *T. pratense*), mientras que los de K, Fe, Mn y Cu son siempre más bajos en el segundo año que en el primero, cosa que ocurre también con los de Na (excepto en *T. repens*) y con los de Ca y Zn (salvo en *M. sativa*).

Las desviaciones típicas disminuyen su valor, en el segundo año y en todas las especies, en el caso de Fe y Cu y lo aumentan en el caso del Na. Lo primero puede observarse también para P y Ca, si exceptuamos la especie *T. pratense*, y lo segundo para N y Mn (salvo en *M. sativa*), Mg (excepto en *T. pratense*) y K y Zn (salvo en *T. repens*).

Los coeficientes de variación son siempre más bajos en el segundo período que en el primero para P y Fe y también para K y Mg (excepto en *T. pratense*). En el caso de Na y Cu estos valores son siempre más altos en el segundo año y así ocurre también para el Mg (excepto en *T. pratense*), Zn (excepto *T. repens*) y para N y Mn (excepto en *M. sativa*).

Destaca el hecho de que *T. repens* proporcione en tantas ocasiones la media más alta de las concentraciones encontradas. Esto ocurre, en los dos períodos de control, para P, K, Na, Fe y Mn; en el primer año para Ca y Zn y en el segundo para el N. En el caso del Mg es *T. pratense* quien da el valor medio más alto en los dos años. Y, asimismo, es esta especie la que generalmente da la media más baja, ocurriendo esto para N, P, K, Na y Fe en los dos años y para Ca y Zn en el segundo. *M. sativa* da los valores medios más bajos, en los dos años, para Mn y Cu y en el primer año para Ca, Mg y Zn.

M. sativa proporciona las desviaciones típicas más altas para P, Ca y Mg en los dos años y para N, K, Fe y Mn en el primer año, mientras *T. pratense* da los valores más altos, en los dos períodos, para Na y Cu. Para las desviaciones típicas más bajas no se encuentran regularidades, son muy variables, aunque puede decirse que *T. pratense* da las desviaciones típicas más bajas, en los dos años, para el Fe y *T. repens* para Cu y N.

Los coeficientes de variación más altos para el Na en los dos períodos son los de *T. pratense*, y para Ca, Mg y Cu los de *M. sativa*. También en el primer año esta especie da los coeficientes de variación más altos para N, P, Fe y Mn, mientras *T. repens* da los de K y Zn. En el segundo,

TABLA I

Valores extremos y medios, desviaciones típicas y coeficientes de variación de las variables controladas

	CREC.	S. S.	CEN.	N	P	K
CORTES CADA TREINTA						
Valores extremos.....	16.0-115	148-7475	10.2-14.1	2.06-4.36	0.200-0.600	0.880-3.50
Valor medio.....	73.2	3989	11.9	2.74	0.322	2.08
Desviación típica.....	36.6	2934	1.61	0.971	0.168	1.22
Coefficiente de variación...	50.0	73.6	13.6	35.4	35.1	58.6
CORTES CADA DIEZ						
Valores extremos... ..	19.0-100	178-2189	8.93-12.4	2.16-4.89	0.218-0.507	1.15-2.90
Valor medio.....	61.1	933	10.6	3.08	0.332	1.55
Desviación típica.....	27.6	615	0.929	0.883	0.083	0.384
Coefficiente de variación...	45.1	66.0	8.77	28.7	25.1	24.8

Nota: Los valores extremos y medios del crecimiento se expresan en cm., los de la sustancia seca en ppm sobre sustancia seca.

TABLA II

Valores extremos y medios, desviaciones típicas y coeficientes de variación de las variables controladas

	CREC.	S. S.	CEN.	N	P	K
CORTES CADA TREINTA						
Valores extremos.....	13.0-110	938-7650	10.0-12.8	1.64-3.28	0.170-0.350	1.31-2.25
Valor medio.....	71.4	3511	11.0	2.27	0.270	1.89
Desviación típica.....	37.3	3588	1.22	0.690	0.070	0.370
Coefficiente de variación...	52.3	102	11.0	30.5	27.4	19.8
CORTES CADA DIEZ						
Valores extremos.....	14.0-72.0	389-1740	9.08-11.2	2.13-5.84	0.210-0.400	0.650-2.30
Valor medio.....	49.1	498	10.1	3.06	0.290	1.52
Desviación típica.....	21.0	465	0.833	1.13	0.073	0.449
Coefficiente de variación...	42.8	46.6	8.28	36.9	25.5	29.6

Nota: Los valores extremos y medios del crecimiento se expresan en cm., los de la sustancia seca en ppm sobre sustancia seca.

durante el crecimiento primario realizando cortes cada treinta (1^{er} año) y diez días (2^o año) en *M. sativa*

Na	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
DIAS (1. ^{er} AÑO)						
0.180-0.350	0.323-1.95	0.206-0.617	140-566	53.0-74.0	11.25-21.25	15.6-36.8
0.244	1.31	0.432	252	65.2	14.8	22.5
0.064	0.604	0.153	178	13.9	3.89	6.31
26.2	45.9	35.5	70.7	21.8	26.4	28.1
DIAS (2. ^o AÑO)						
0.075-0.350	1.14-1.98	0.400-0.717	68.8-118	40.0-56.3	5.00-16.3	15.6-36.8
0.199	1.49	0.567	94.8	47.9	10.8	22.5
0.082	0.254	0.109	16.3	5.51	3.20	5.31
41.2	17.1	19.2	17.2	11.5	29.6	28.1

en g/m², los de las cenizas, N, P, K, Na, Ca y Mg en % sobre sustancia seca y los de Fe, Mn, Cu y Zn

durante el crecimiento primario realizando cortes cada treinta (1^{er} año) y diez días (2^o año) en *T. pratense*

Na	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
DIAS (1. ^{er} AÑO)						
0.110-0.250	1.38-1.59	0.580-0.630	158-290	68.0-75.0	14.5-25.0	15.4-25.8
0.170	1.45	0.610	227	73.0	17.2	21.5
0.070	0.102	0.028	52.0	2.83	4.45	5.45
38.7	7.00	4.64	22.9	3.88	26.0	25.4
DIAS (2. ^o AÑO)						
0.031-0.425	1.00-1.55	0.480-0.760	57.5-100	37.5-62.5	9.00-16.3	12.5-30.9
0.120	1.25	0.584	76.7	52.9	12.8	19.5
0.119	0.165	0.095	14.0	8.87	3.83	5.56
98.8	13.2	16.2	18.2	16.8	30.0	28.6

en g/m², los de las cenizas, N, P, K, Na, Ca y Mg en % sobre sustancia seca y los de Fe, Mn, Cu y Zn

TABLA III

Valores extremos y medios, desviaciones típicas y coeficientes de variación de las variables controladas

	CREC.	S. S.	CEN.	N	P	K
	CORTES CADA TREINTA					
Valores extremos.....	9.00—38.0	143—6217	12.8—16.5	2.28—3.50	0.280—0.440	1.88—3.94
Valor medio.....	28.0	3057	14.4	2.68	0.374	2.72
Desviación típica.....	12.0	2734	1.67	0.494	0.072	0.761
Coefficiente de variación...	42.8	89.4	11.6	18.4	19.3	100
	CORTES CADA DIEZ					
Valores extremos.....	7.00—39.0	300—1024	11.3—13.2	2.27—4.44	0.275—0.450	1.36—2.43
Valor medio.....	25.7	624	12.1	3.28	0.857	1.84
Desviación típica.....	12.0	251	0.572	0.649	0.058	0.388
Coefficiente de variación...	46.9	40.2	4.74	19.8	16.3	21.1

Nota: Los valores extremos y medios del crecimiento se expresan en cm., los de la sustancia seca en ppm sobre sustancia seca.

T. pratense proporciona los más altos para N, P, K, Fe y Zn. Los coeficientes de variación más bajos, en los dos años, para N, P, Na y Cu son los de *T. repens*, especie que proporciona también los más bajos del segundo año para K, Ca, Mg, Fe y Zn, mientras que en el primero es *T. pratense* quien da los valores más bajos para K, Ca, Mg, Fe y Mn.

En las figs. 1, 2 y 3 pueden verse las correlaciones significativas obtenidas para los dos años de control en cada una de las especies. En dichas figuras se han reseñado tanto el signo como la significación de las correlaciones, según los correspondientes coeficientes de correlación resultantes. En general, y esto puede comprobarse comparando entre sí los dos gráficos circulares (uno para cada año) que aparecen en cada una de las figuras, siempre se obtiene mayor número de correlaciones en el segundo período de control que en el primero. También puede observarse que son casi siempre las variables situadas a la izquierda en los círculos, y en concreto y sobre todo Na, Ca, Mg, Fe, Mn y Cu, las que proporcionan menor número de correlaciones; esto se da con mayor claridad en *M. sativa* y *T. pratense* (figs. 1 y 2, respectivamente).

En las figs. 4, 5, 6, 7, 8 y 9 se han representado y expresado matemáticamente las rectas de regresión correspondientes a las correlaciones obtenidas en los dos años de control, lo que se complementa con la significación y signo de las correlaciones antes indicadas en las figs. 1, 2 y 3, siendo ésta la razón de que aquí no figuren los coeficientes de correlación.

Para obtener la concentración de un elemento a partir de un par

durante el crecimiento primario realizando cortes cada treinta (1^{er} año) y diez días (2^o año) en *T. repens*

Na	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
DIAS (1. ^{er} AÑO)						
0.250—0.400	1.60—2.23	0.407—0.666	445—750	115—147	14.0—21.8	18.5—34.3
0.358	1.84	0.529	532	128	16.4	23.3
0.062	0.262	0.101	128	11.9	3.10	6.47
17.4	14.3	19.1	21.1	9.31	18.9	100
DIAS (2. ^o AÑO)						
0.250—0.537	1.22—1.64	0.455—0.636	138—223	65.0—105	11.8—21.3	16.3—25.5
0.436	1.43	0.536	159	81.1	14.8	21.4
0.099	0.121	0.056	26.1	13.9	2.84	2.97
22.7	8.44	10.4	16.4	17.1	19.2	13.8

en g/m², los de las cenizas, N, P, K, Na, Ca y Mg en % sobre sustancia seca y los de Fe, Mn, Cu y Zn

de valores de los ejes de coordenadas, ha de tomarse éste y multiplicarlo por el correspondiente factor de conversión de la tabla IV sumándole a continuación el número que aparece inmediatamente después del factor, en la misma tabla.

Como puede apreciarse en estas figuras (4, 5, 6, 7, 8 y 9) la mayoría de las correlaciones encontradas son positivas, excepto en el caso en que uno de los dos elementos implicados en la correlación sea el Na. Por otra parte, cuando una correlación existe para los dos años es posible comprobar, comparando las dos expresiones matemáticas de las dos rectas de regresión, que, en general, la pendiente suele ser mayor en la recta que expresa la correlación para el segundo año. Esto implica que para una misma variación en la concentración del bioelemento que se considera como variable independiente, se produce, en el elemento que funciona como variable dependiente, una variación de la concentración que es mayor en el segundo año que en el primero.

A continuación se comentan, elemento por elemento, los aspectos más interesantes de los resultados obtenidos.

Nitrógeno

Los contenidos de este elemento presentan una clara tendencia a disminuir con la madurez en las tres especies y en los dos períodos de control, resultados que coinciden con los obtenidos por Pumphrey y

TABLA IV
Factores de conversión

	<i>Medicago sativa</i>		<i>Trifolium pratense</i>		<i>Trifolium repens</i>	
	1.º año	2.º año	1.º año	2.º año	1.º año	2.º año
N	x 0.287 + 2.06	x 0.341 + 2.16	x 0.205 + 1.64	x 0.463 + 2.13	x 0.153 + 2.28	x 0.271 + 2.27
P	x 0.050 + 0.200	x 0.036 + 0.218	x 0.023 + 0.170	x 0.024 + 0.210	x 0.020 + 0.280	x 0.022 + 0.275
K	x 0.328 + 0.880	x 0.219 + 1.15	x 0.118 + 1.31	x 0.206 + 0.650	x 0.258 + 1.88	x 0.134 + 1.36
Na	x 0.021 + 0.180	x 0.034 + 0.075	x 0.018 + 0.110	x 0.049 + 0.031	x 0.019 + 0.250	x 0.036 + 0.250
Ca	x 0.01 + 0.260	x 0.203 + 0.323	x 0.105 + 1.14	x 0.027 + 1.38	x 0.069 + 1.00	x 0.078 + 1.60
Mg	x 0.051 + 0.206	x 0.040 + 0.400	x 0.006 + 0.580	x 0.035 + 0.480	x 0.032 + 0.407	x 0.023 + 0.455
Fe	x 52.6 + 140	x 6.10 + 68.8	x 16.4 + 158	x 5.32 + 57.5	x 37.0 + 455	x 10.63 + 138
Mn	x 2.62 + 53.0	x 2.03 + 40.0	x 0.875 + 68.0	x 3.13 + 37.5	x 4.00 + 115	x 5.00 + 65.0
Cu	x 1.25 + 11.3	x 1.41 + 5.00	x 1.31 + 14.5	x 0.910 - 9.00	x 0.969 + 14.0	x 0.188 + 11.8
Zn	x 1.4. + 15.5	x 2.64 + 15.6	x 1.32 + 15.4	x 2.30 + 12.5	x 1.16 + 16.25	x 1.16 + 16.25

Moore (14) en *M. sativa*, Fleming y Murphy (6) en *T. repens*, entre otras especies, y Whitehead y Jones (18) en las tres especies aquí estudiadas.

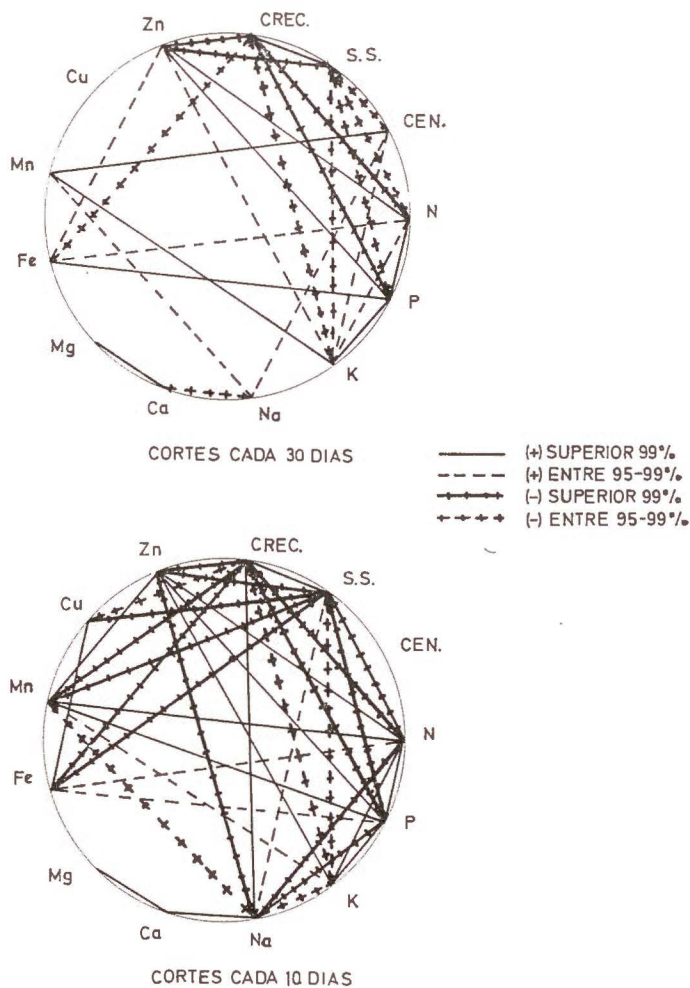


FIG. 1.—RELACIONES ENTRE BIOELEMENTOS Y OTRAS VARIABLES EN Medicago sativa PARA EL CRECIMIENTO PRIMARIO EN CORTES CADA 30 Y 10 DIAS.

Como puede verse en las figs. 1, 2 y 3, todas las correlaciones presentadas por este elemento, frente a los otros nueve considerados, son positivas excepto en el caso de la correlación N-Na en el segundo año. Las expresiones matemáticas correspondientes a esas correlaciones, así como sus representaciones gráficas, pueden verse en las figs. 4-9. Debe notarse que únicamente la correlación existente para la pareja N-P

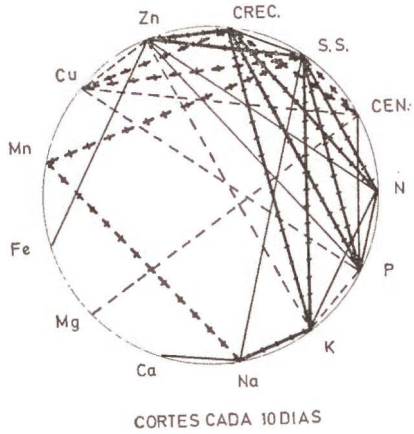
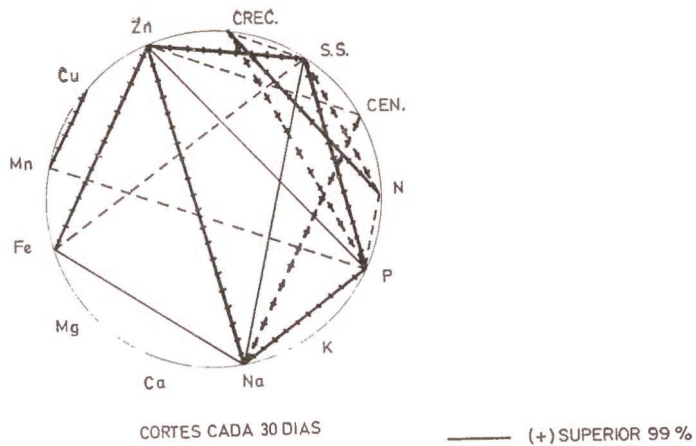


FIG. 2.-RELACIONES ENTRE BIOELEMENTOS Y OTRAS VARIABLES EN *Trifolium pratense* PARA EL CRECIMIENTO PRIMARIO EN CORTES CADA 30 y 10 DIAS.

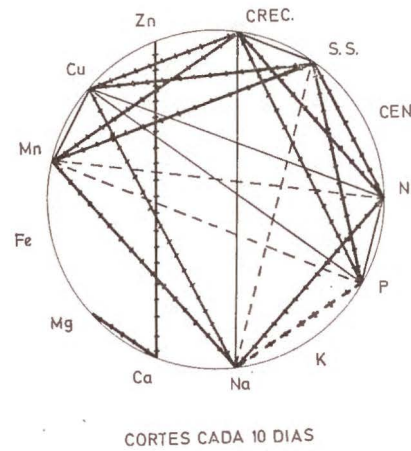
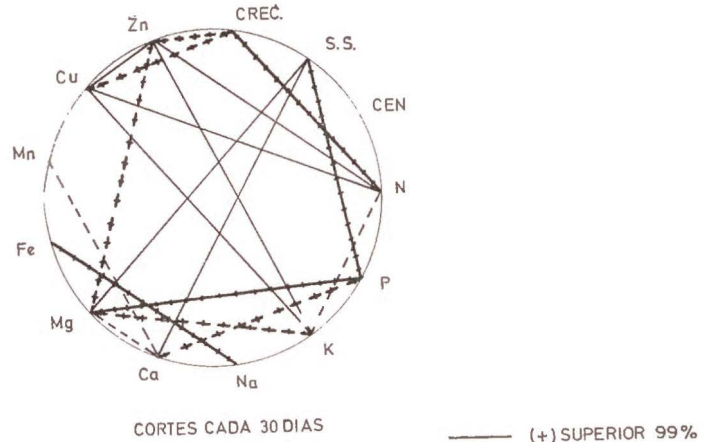


FIG. 3.-RELACIONES ENTRE BIOELEMENTOS Y OTRAS VARIABLES EN *Trifolium repens* PARA EL CRECIMIENTO PRIMARIO EN CORTES CADA 30 y 10 DIAS.

aparece en las tres especies y que esto ocurre solamente en el segundo año.

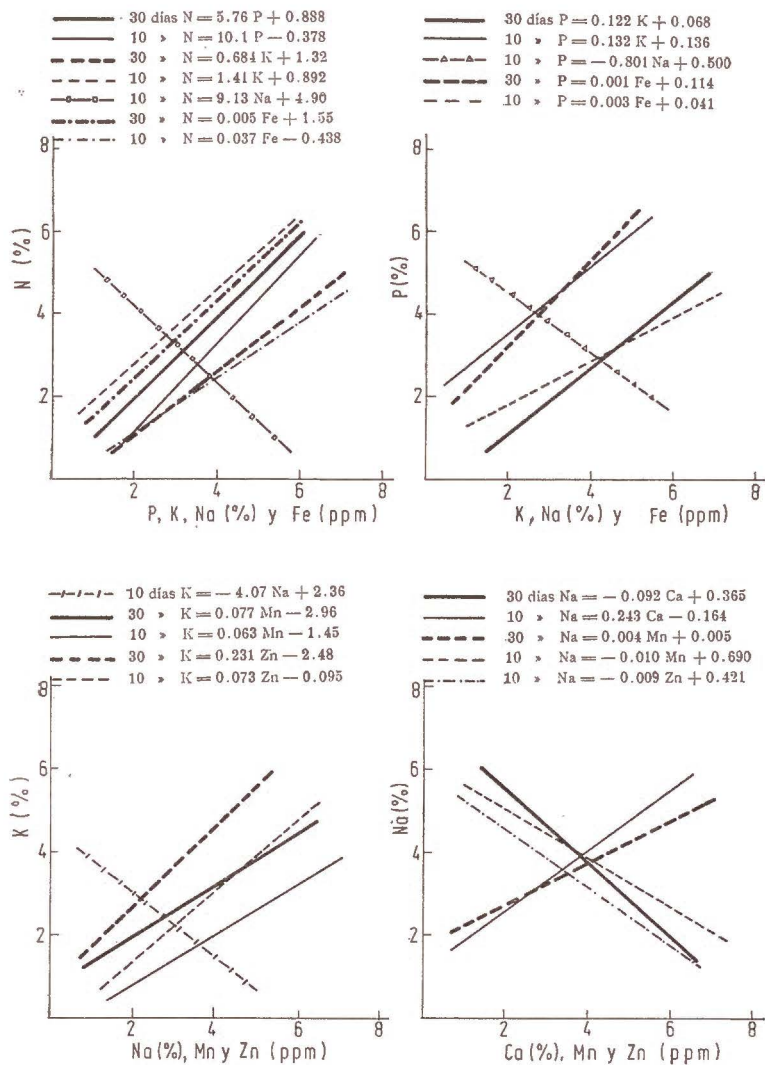


Fig. 4.—Rectas de regresión entre los contenidos de bioelementos en *Medicago sativa*

Destaca asimismo el hecho de que en *M. sativa* se conservan en el segundo año del experimento todas las correlaciones encontradas en el primero, hecho que generalmente veremos repetido en esta especie al estudiar las correlaciones presentadas por el resto de los elementos y que no se da en las otras dos especies objeto de estudio. Esto podría ser debido quizá a una mayor capacidad de adaptación de *M. sativa*,

especie que parece alcanzar con mayor rapidez un equilibrio nutricional que se mantiene luego estable a pesar del cambio en las condiciones de un año a otro (régimen de lluvias, temperatura, etc.). Aparecen, sin

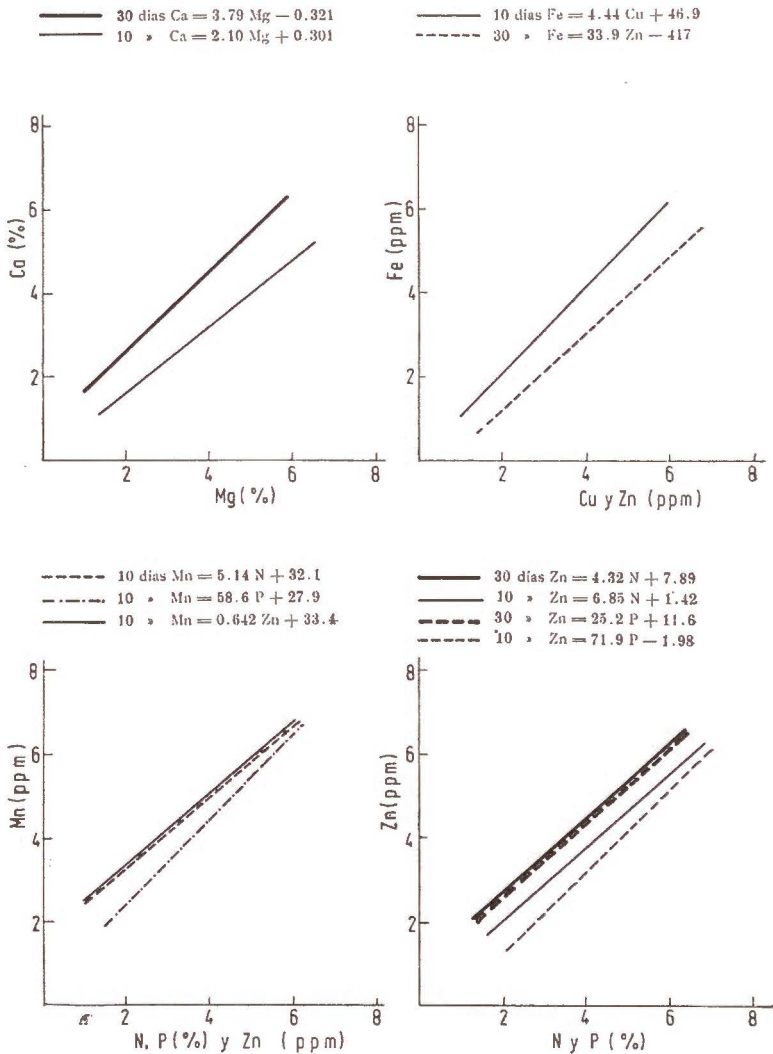


Fig. 5.—Rectas de regresión entre los contenidos de bioelementos en *Medicago sativa*

embargo, correlaciones nuevas durante el segundo año frente a dos elementos (Mn y Na) que pasan de no tener una tendencia clara durante el primer año a descender claramente con la madurez el primero y a aumentar el segundo.

Como puede verse en las figs. 4 y 5 y ya se ha señalado antes, las

expresiones matemáticas correspondientes a una correlación que se mantiene durante los dos años no son, ni mucho menos, idénticas y en este sentido cabe hacer notar, como norma general, el aumento que se produce en la pendiente de la recta que expresa la correlación en el segundo año. Esto ocurre en *M. sativa* en todas las correlaciones presentadas por el N y que se mantienen en los dos períodos, salvo para la pareja N-Zn.

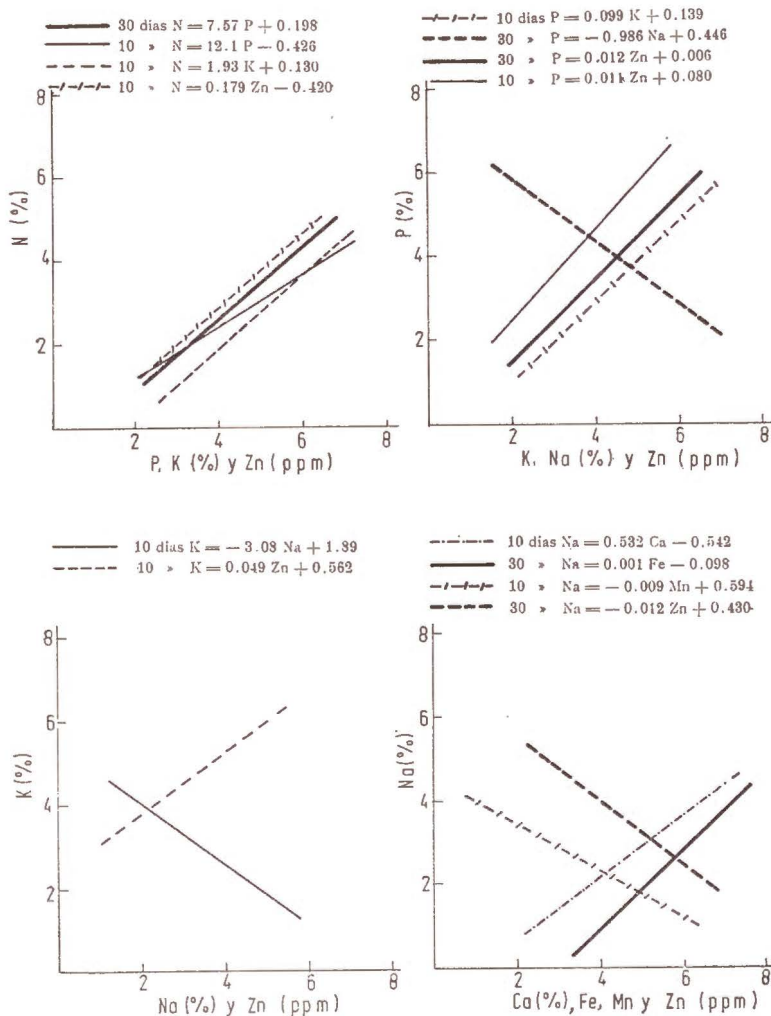


Fig. 6. —Rectas de regresión entre los contenidos de bioelementos en *Trifolium pratense*

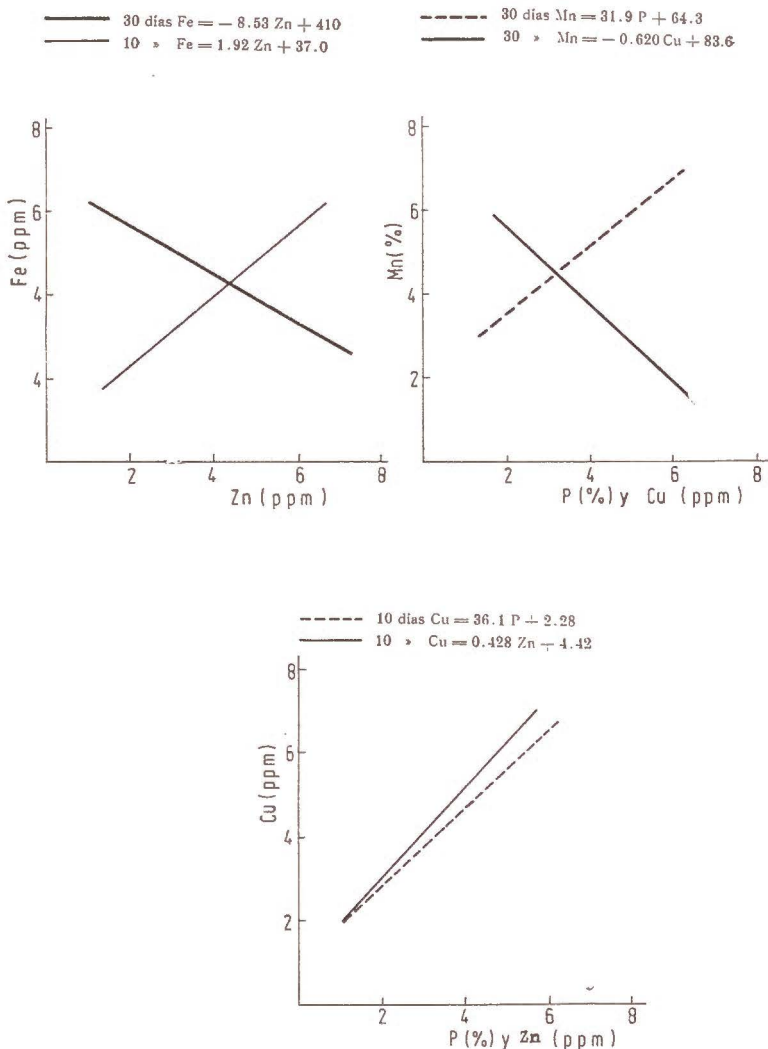


Fig. 7.—Rectas de regresión entre los contenidos de Bioelementos en *Trifolium pratense*

Fósforo

Al igual que en el caso del nitrógeno, los contenidos de este elemento tienden a disminuir a medida que el desarrollo de la planta avanza, e igualmente esta tendencia es clara para las tres especies estudiadas y en los dos años de control. Además de los trabajos anteriormente citados de Fleming y Murphy (6) y Whitehead y Jones (18), coinciden también con estos resultados los llevados a cabo por Van Riper y Smith (16) sobre las tres especies (entre otras) aquí estudiadas y por Whitehead (17) sobre *M. sativa* y *T. repens* (entre otras).

En las figs. 1, 2 y 3 podemos ver las correlaciones obtenidas en las tres especies para los dos años y observar que también en este caso se conservan en *M. sativa*, en el segundo año, las cuatro correlaciones encontradas para este elemento durante el primer año. Asimismo, se registra un aumento en el coeficiente de regresión de la recta correspondiente al segundo año en las correlaciones P-K y P-Fe, aunque en el caso de las parejas P-N y P-Zn ocurre justamente lo contrario (figs. 4 y 5).

Van Riper y Smith (16) y Loper y Smith (13) encontraron, para estas tres especies, correlación positiva y significativa entre los contenidos de

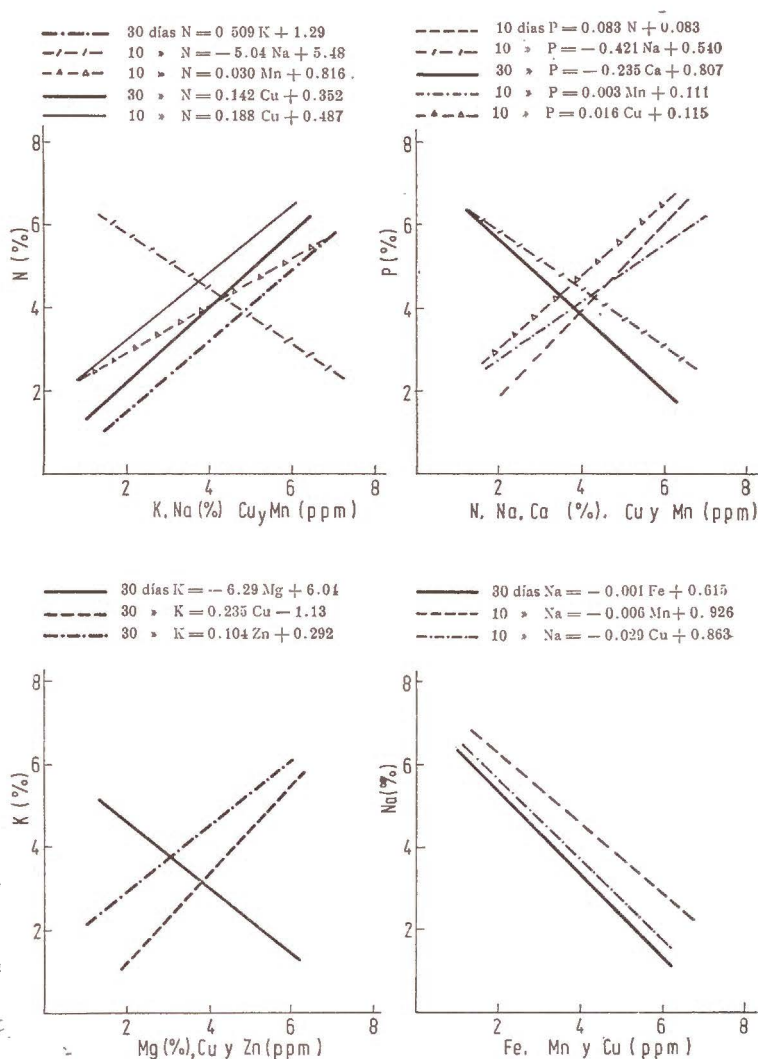


Fig. 8.—Rectas de regresión entre los contenidos de bioelementos en *Trifolium repens*

P y los de K, Fe y Cu y nunca con los de Zn, lo cual, como puede verse, coincide tan solo en parte con los resultados obtenidos aquí. Estas diferencias pueden tener su explicación en las diversas condiciones en las que se han desarrollado los experimentos: distinto suelo, fertilización, clima y estados de desarrollo seleccionados, entre otros.

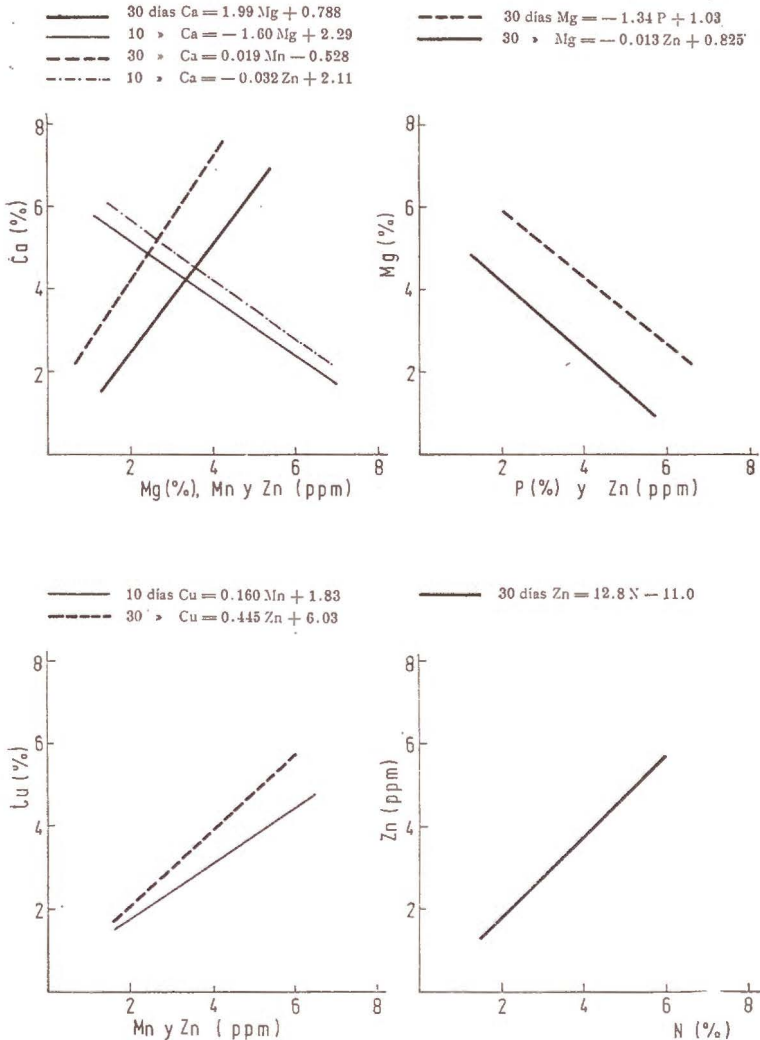


Fig. 9.—Rectas de regresión entre los contenidos de bioelementos en *Trifolium repens*

Potasio

Los contenidos de este elemento tienden a disminuir con la madurez en las tres especies, salvo en el primer año de control en *T. pratense* y

en el segundo en *T. repens*, casos en que las evoluciones son algo más complejas y en los que, como se ve en las figs. 2 y 3, no se registran correlaciones significativas. Las fluctuaciones encontradas para estas dos especies coinciden con los hallazgos de Fleming y Coulter (5) y con los de Whitehead y Jones (18), aunque Van Riper y Smith (16) y Davies y cols. (3) encuentran un descenso más regular.

En *M. sativa* aparece nuevamente el fenómeno indicado para los dos elementos anteriores, pero en este caso la pendiente de la recta es menor en el segundo año y por tanto la variación en el contenido de K es menor también, respecto a la variación que sufren los elementos relacionados con él (fig. 4).

Loper y Smith (13) encontraron que el K se correlacionaba positivamente en las tres especies con el P, como ya se ha indicado, y además con Fe y Cu, pero no con el Zn. Comparando estos resultados con la información que se ofrece en las figs. 1, 2 y 3, puede verse que las diferencias son notables; sus causas pueden ser las ya apuntadas.

Sodio

Parece que la tendencia del Na durante el segundo año es hacia un aumento con la edad en las tres especies, mientras que los demás elementos, en general, tienden a una disminución, de ahí la abundancia de correlaciones negativas para este elemento durante ese período (figs. 1, 2, 3, 4, 6 y 8). Durante el primer año el Na no parecía presentar una tendencia clara.

En las tres especies los contenidos de Na se encuentran negativamente correlacionadas con los de Mn, hecho que merece ser destacado por la escasa frecuencia con la que se han encontrado regularidades de comportamiento en las especies estudiadas. El hecho se produce únicamente durante el segundo año de control.

En *M. sativa* se conservan durante el segundo año las dos correlaciones aparecidas para este elemento en el primero, aunque cambiadas de signo (figs. 1 y 4). Esto tiene su explicación en algo que se ha dicho antes: el sodio no parece tener una tendencia muy clara durante el primer año, pero durante el segundo tiende a aumentar con la madurez; una evolución diferente de su concentración provoca esta diferencia de signo de un año a otro. Como puede verse en la fig. 4, la pendiente es mayor para las rectas que expresan las relaciones encontradas durante el segundo año que para las del primero.

Calcio

Este elemento es muy variable en su comportamiento, no sigue una tendencia clara en ninguna de las especies. Estos resultados son coincidentes con los encontrados por Van Riper y Smith (16) y por Whitehead y Jones (18) para estas tres especies.

Van Riper y Smith (16) no encontraron correlaciones significativas

para este elemento. Observando las figs. 1, 2 y 3, se comprueba la escasez de correlaciones encontradas aquí; concretamente, en el primer año, *T. pratense* no da ninguna correlación significativa para el Ca.

Las dos correlaciones encontradas para *M. sativa* durante el primer año se conservan en el segundo, aunque con un cambio de signo en una de ellas (Ca-Na) que pasa de positiva a negativa, cosa que puede ser explicada por las variaciones que sufren las tendencias del Na de un año a otro y que ya han sido comentadas. En el caso que nos ocupa (relaciones Ca-Na y Ca-Mg) la pendiente es mayor en las rectas que expresan la relación encontrada durante el primer año (fig. 4 y 5), lo cual parece indicar que la misma variación en la concentración de Mg o de Na en ambos años va acompañada de otra de Ca más importante en el primer año que en el segundo.

Magnesio

Este elemento presenta muy pocas correlaciones. Sus contenidos varían mucho con la madurez en unas especies y muy poco en otras, sin que pueda definirse una tendencia clara con el avance del desarrollo, salvo en *T. repens* durante el primer año del experimento en el que el Mg tiende a aumentar. Es precisamente en este caso cuando el elemento presenta el mayor número de correlaciones; en el segundo período de control *T. pratense* es la especie en la que no se registran correlaciones significativas.

En *M. sativa* (fig. 1) este elemento presenta una sola correlación (Mg-Ca), que aparece para los dos años y que ha sido comentada en el apartado dedicado al Ca; ésta y otras expresiones matemáticas y las representaciones gráficas de las correlaciones pueden verse en las figuras 5, 8 y 9.

Hierro

Beeson y McDonal (2), estudiando los efectos de la madurez sobre los contenidos minerales en *M. sativa* y *T. repens* (entre otras especies), encontraron que los niveles de Fe aumentaban con la madurez; Loper y Smith (13) encontraron, por su parte, un marcado descenso. En este trabajo se confirma esta diversidad de comportamiento del Fe en las distintas especies estudiadas, ya que únicamente en *M. sativa* se puede hablar de una cierta tendencia a disminuir con la madurez, aunque con ciertas fluctuaciones; consecuentemente con esto, es en esta especie donde el Fe proporciona el mayor número de correlaciones.

No se registran correlaciones significativas para el Fe en *T. repens* en el segundo año de control.

Loper y Smith (13) encontraron correlación positiva para la pareja Fe-P en las tres especies (no solamente para *M. sativa* como aquí) y para Fe-K y Fe-Cu que tampoco se obtienen aquí. Ya se han señalado las dificultades para comparar resultados de experimentos realizados a gran distancia, tanto en tiempo como en espacio, y con las consiguientes

diferencias en cuanto a las condiciones en que los experimentos se realizan.

Dos de las tres correlaciones presentadas por este elemento en *M. sativa* durante el primer año se conservan para el segundo (fig. 1) y ya han sido comentadas antes, por lo cual no se vuelve a insistir aquí.

Manganeso

Ocurre con este elemento algo semejante a lo dicho para el Fe y, también en este caso, de acuerdo con diversos autores y los distintos resultados hallados por ellos, las tendencias del Mn varían con las especies y también en un año a otro.

Tampoco en este caso los resultados obtenidos son comparables a los de Loper y Smith (13), que encontraron correlación positiva para la pareja Mn-Cu en las tres especies, correlación que aquí sólo se obtiene para *T. repens*.

Nuevamente en *M. sativa* se conservan durante el segundo año del experimento aquellas correlaciones encontradas en el primero y que ya han sido comentadas en los apartados correspondientes, al estudiar los elementos anteriores.

Cobre

Se sabe que los contenidos de este elemento descienden con la madurez en las gramíneas, pero según los trabajos de Thomas y cols. (15), Fleming y Murphy (6) y Loper y Smith (13) este modelo de comportamiento no es necesaria y exactamente el mismo en las leguminosas. En este caso se registra, al menos en dos ocasiones (en *M. sativa* y *T. pratense* durante el primer año), cierta tendencia al aumento sobre todo al final del crecimiento; en los demás casos, aunque con fluctuaciones más o menos acusadas, su tendencia parece ser hacia una disminución de los contenidos con la madurez.

En *M. sativa* no se registra ninguna correlación significativa para este elemento en el primer año de control. Tanto esto como las correlaciones que aparecen en las otras especies estudiadas pueden verse en las figs. 1, 2 y 3.

Loper y Smith (13) obtuvieron correlación positiva entre los contenidos de Cu y los de P para las tres especies, cosa que aquí solo aparece en dos especies y únicamente en el segundo año, y también para las parejas Cu-K, Cu-Fe y Cu-Mn (con las que ocurre algo semejante).

Cinc

En general, los contenidos de Zn parecen decrecer con la madurez, aunque esta tendencia es más acusada en unas especies que en otras y en un año que en otro. Estos resultados contrastan con los obtenidos por Loper y Smith (13), que registraron un aumento para las dos espe-

cies de *Trifolium*. Tanto Fleming y Murphy (6) como Whitehead y Jones (18) encontraron pocas variaciones para este elemento a medida que la planta madura.

Los resultados obtenidos para este elemento, que pueden verse en las figs. 1, 2 y 3, no coinciden con los obtenidos por Loper y Smith (13), que no encontraron, en general, correlaciones significativas.

* * *

Como se ha visto, no existe una homogeneidad de comportamiento en las tres especies estudiadas y únicamente se pueden señalar ciertos aspectos que han sido detallados ya en parte al principio del trabajo y entre los cuales se pueden destacar: ampliación del intervalo de valores de las concentraciones de Na y N en el segundo año, valores medios de las concentraciones de Fe, Mn, Cu y K más bajos y de N más altos en ese período y la existencia de sólo dos correlaciones (N-P y Na-Mn, esta última negativa) comunes a las tres especies, en el segundo año de control.

Esto nos lleva a pensar en la importancia de las particularidades fisiológicas de cada especie, que sería necesario estudiar si se quiere utilizar en cada caso el tratamiento adecuado para obtener el rendimiento óptimo, ya que especies que han crecido en el mismo suelo y sometidas a las mismas condiciones climáticas han proporcionado datos tan dispares como los vistos y que únicamente en el segundo año del experimento dan algún resultado común, debido probablemente a que es en este segundo año cuando las plantas comienzan a alcanzar un mejor equilibrio nutricional junto con una mayor adaptación al ambiente en el que han sido colocadas. Esta falta de adaptación sería quizá la causa de que en el primer año la variabilidad de las concentraciones de nutrientes fuese mayor y mayor por tanto la dificultad de encontrar correlaciones comunes a las tres especies y a las presentadas por la misma especie durante el segundo año, fenómeno que sólo se registra en *M. sativa* quizá debido a una más rápida adaptación de esta especie.

RESUMEN

Se estudian las correlaciones existentes entre las concentraciones de N, P, K, Na, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu y Zn en tres especies pratenses (*Medicago sativa* «Europe FD 100», *Trifolium pratense* «comercial» y *Trifolium repens* «C. P. I. 19434») en las cuales se controló el crecimiento primario, durante dos años consecutivos, realizando cortes cada treinta días durante el primer año y cada diez en el segundo.

Las correlaciones varían de una especie a otra y también de un año a otro para la misma especie, de tal forma que solamente en *M. sativa* se encuentran correlaciones comunes para los dos años. Esta variabilidad, que denota cierto desequilibrio entre los nutrientes, impide una coincidencia de resultados entre las diferentes especies y, así, sólo se han encontrado dos correlaciones comunes a las tres especies estudiadas (N-P y Na-Mn), en el segundo año de control. A lo largo de este año parece que las plantas alcanzan un mejor equilibrio nutricional, asociado a una mayor adaptación al ambiente en el que habían sido colocadas.

Centro de Edafología y Biología Aplicada de Salamanca (C. S. I. C.).
Sección de Praticultura.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) BATES, T. E. (1971). Factors affecting critical nutrient concentrations in plants and their evaluation. A review. *Soil Sci.*, **112**, 116-30.
- (2) BEESON, K. C. and McDONALD, H. A. (1951). Absorption of mineral elements by forage plants. III. The relation of stage of growth to the microelement content of timothy and some legumes. *Agron. J.*, **43**, 589-98.
- (3) DAVIES, W. E., GRIFFITH, F. and ELLINGRON, A. (1966). The assessment of herbage legume varieties. II. In vitro digestibility, water soluble carbohydrate, crude protein and mineral content of primary growth of clover and lucerne. *J. Agric. Sci., Cam.*, **66**, 351-57.
- (4) DUQUE, M. F. (1971). Determinación conjunta de P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu y Zn en plantas. *Anal. Edaf. Agrob.*, **3-4**, 207-29.
- (5) FLEMING, G. A. and COULTER, B. S. (1963). Proc. 1st Reg. Conf. Int. Potash Inst., Wexford, 63-70.
- (6) FLEMING, G. A. and MURPHY, W. E. (1968). The uptake of some major and trace elements by grasses as affected by season and stage of maturity. *J. Br. Grassld. Soc.*, **23**, 174-85.
- (7) FLEMING, G. A. (1973). Mineral composition of herbage. *Chemistry and Biochemistry of herbage*. Vol. 1, p. 529. Edit. Butler, G. W. and Bailey, R. Academic Press. London and New York.
- (8) GARCÍA, C. B., DUQUE, M. F. y GARCÍA, C. A. (1973). Efectos de la frecuencia de corte en especies pratenses. II. Variación del contenido en N, P, Ca y S en *Lolium perenne* «V 807» y *Lolium italicum* «Tetrone». *Pastos*, **3** (1), 127-37.
- (9) GARCÍA, C. B. y GÓMEZ, G. J. M. (1973). Efectos de la frecuencia de corte en especies pratenses. I. Crecimiento y producción de *Lolium perenne* «V 807» y *Lolium italicum* «Tetrone». *Pastos*, **3** (1), 115-26.
- (10) GARCÍA, C. B. y GÓMEZ, G. J. M. (1975). Clasificación de diez especies pratenses mediante un sistema de tests de calidad. *Anal. Edaf. Agrob.*, **11-12**, 904-15.
- (11) GARCÍA, C. B. y GARCÍA, C. A. (1976). Evaluación de especies pratenses cultivadas en los regadíos de la cuenca media del río Tormes. *Anuario*, Vol. II, 1975, C. E. B. A. (C. S. I. C.), 85-104.
- (12) GARCÍA, C. B., VALDÉS, A. A., GARCÍA, C. A. and GÓMEZ, G. J. M. (1977). Relations between mineral elements concentrations in herbage plants of natural communities in the semi-arid area of West Central Spain. *Aust. J. Agric. Res.* (En prensa.)
- (13) LOPER, G. M. and SMITH, D. (1961). Changes in the micronutrient composition of herbage of alfalfa, medium red clover, ladino clover, and brome grass with advance in maturity. *Agric. Exp. St. Univ. Wisconsin. Res. Rep.* núm. 8.
- (14) PUMPHREY, F. V. and MOORE, D. P. (1965). Sulphur and nitrogen content of alfalfa herbage during growth. *Agron. J.*, **57**, 237-39.
- (15) THOMAS, B., THOMPSON, A., OYENUGA, V. A. and ARMSTRONG, R. H. (1952). The ash constituents of some herbage plants at different stages of maturity. *Emp. J. Exp. Agri.*, **20**, 10-22.
- (16) VAN RIPER, G. E. and SMITH, D. (1959). Changes in the chemical composition of the herbage of alfalfa, medium red clover, ladino clover, and brome grass with advance in maturity. *Agric. Exp. St. Univ. Wisconsin. Res. Rep.* núm. 4.
- (17) WHITEHEAD, D. C. (1966). Nutrient minerals in grassland herbage. Mimeo. Publ., núm. 1, Commonw. Bur. Past. Forage Crops., Hurley.
- (18) WHITEHEAD, D. C. and JONES, E. G. (1969). Nutrient elements in the herbage of white clover, red clover, lucerne and sainfoin. *J. Fd. Agric.*, **20**, 584-91.

Recibido para publicación: 1-IX-77

CUESTIONES GENERALES

ANÁLISIS ESTADÍSTICO Y SOCIOMÉTRICO DE LA CIENCIA DEL SUELO (*)

por

F. DIAZ-FIERROS VIQUEIRA

SUMMARY

STATISTICAL AND SOCIOMETRIC ANALYSIS OF THE SOIL SCIENCE

An analysis of the literature on Pedology is made, based on the list published by *Soil and Fertilizers* covering the period from 1945 to the present day. It is noted that by the 50's had been established an exponential growth pattern with the significant 15-year duplication period that Price, D. S. considers. Certain significant examples allow us to discuss the possibility of a saturation level having been reached.

The obsolency of pedological publications is investigated and their half-life period calculated. It is found that this index places Pedology at an intermediate level between the classical and the technological disciplines.

The productivity of the various authors is studied and it is shown that it obeys Lotka's law.

National trends apparent within pedological literature are analysed.

Finally the situation of pedology in Spain is compared with the general situation and it is found that there is both a slight lag as regards the number of writings and also a clear disequilibrium between the different specialities.

INTRODUCCIÓN

El análisis estadístico y sociométrico de la literatura científica constituye una rama de la Historia y Sociología de la Ciencia que ha alcanzado un amplio crecimiento en los últimos años y que trata de analizar el fenómeno científico partiendo de los mismos métodos que hicieron posible el desarrollo de la ciencia: es decir, intentando cuantificar y objetivar todo lo que de una forma espontánea o intuitiva se había observado o descrito. Aún cuando se han obtenido resultados alentadores, es necesario aclarar, que más que ante una disciplina nueva, nos encontramos con un programa de trabajo que ha comenzado atacando el problema por su parte más sencilla: es decir la del análisis de la literatura científica como producto más evidente e inmediato de la actividad científica, quedando todavía como áreas importantes que se resis-

(*) Este trabajo ha podido ser realizado gracias a la colaboración de los señores R. Calvo de Anta, F. Gil Sotres, J. Díaz de Bustamante y J. Caballo, y ha sido presentado como ponencia en la reunión de la Sociedad Española de la Ciencia del Suelo celebrada en Madrid en enero de 1979.

ten a una cuantificación rigurosa, entre otras cosas, las del análisis del rendimiento económico y social de la ciencia.

En el campo de la Edafología existen algunos precedentes de este tipo de análisis, pudiéndose destacar entre los mismos las siguientes editoriales del *Soil and Fertilizers*; «The research Factory» (1955) (sin autor) (7), que analiza el crecimiento explosivo de la literatura científica discutiendo los diferentes sistemas de información y organización que pueda hacerlos más asequibles; «Has soil research national characteristics» (1964), de H. Yaalon (8), en el que se investiga las peculiaridades regionales de producción y campos de especialización en la Ciencia del Suelo, o, finalmente, el de G. V. Jacks, «The literature of Soils Science» (1966) (3), donde se realiza de nuevo una discusión en términos análogos a la del primer editorial.

2. LA PRODUCCIÓN CIENTÍFICA EN LA CIENCIA DEL SUELO

Se va a realizar su estudio a partir del análisis de las referencias recogidas en S & F desde el año 1945 al 1978, utilizando y aceptando el sistema de clasificación temática que en él se emplea. Un primer problema metodológico que se puede plantear es el de saber hasta qué punto las citas allí recogidas, representan una muestra significativa de la totalidad de la producción mundial. Por la evidencia del bajo porcentaje de citas españolas allí reseñadas, con relación al total realmente producido en el país, se sabe de antemano que la recopilación del S & F no es exhaustiva. Por otro lado al comparar el número de sus citas con las de la «Bibliography of Soil Science» del Soil Bureau se encuentra que en general recoge sólo del orden del 75 por 100 allí reseñadas. Pese a esto y a que la muestra de citas recogidas en el S & F puede considerarse ligeramente sesgada con relación al universo global por inflación de las citas anglosajonas, es el único archivo de citas con una continuidad y regularidad asegurada y, por tanto, es obligado el tener que recurrir a él como fuente de información de la literatura edafológica mundial.

Representando la totalidad de las referencias recogidas en el S & F durante el período 1945-78 e incorporándole como tendencia probable los datos de la «Bibliography of Soil Science» para el período 1931-44, se observa de forma inequívoca (fig. 1) como desde el final de la década de los cincuenta se inicia un crecimiento de ritmo exponencial que se mantiene ya hasta final del período analizado. Es decir que responde al modelo definido por De Solla Price (6) para el crecimiento de la Ciencia desde el siglo XVII hasta la actualidad, según el cual la forma normal de su crecimiento (publicaciones, instituciones, científicos, etc.) es exponencial. La tasa de crecimiento de la ciencia en un momento dado es, por tanto, proporcional al tamaño total hasta entonces adquirido, de acuerdo con lo que sucede asimismo en fenómenos sociales y biológicos como el de la población mundial o el número de moscas de la fruta de una colonia.

De todas formas una característica importante del crecimiento de la ciencia con relación a otros tipos de fenómenos es el de la intensidad

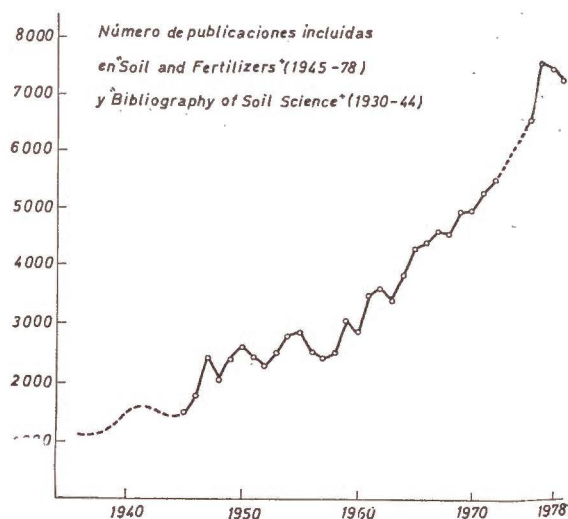


Fig. 1.—Número de publicaciones sobre Edafología recogidas en «Bibliography of Soil Science» (1930-44) (tendencia estimada sobre datos medios cuatrienales) y «Soils and Fertilizers» (1945-78).

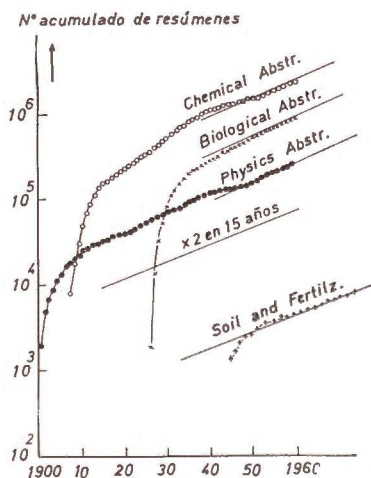


Fig. 2.—Tasas de crecimiento de la literatura científica edafológica comparada con la de otras disciplinas

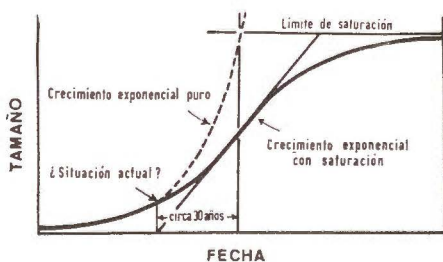


Fig. 3.—Hipótesis de la curva sigmoideal para el desarrollo de la ciencia. (4)

de su ritmo de crecimiento, que es en general muy superior; así, mientras la población mundial es duplicada cada cuarenta o cincuenta años, la ciencia medida a partir de sus publicaciones lo hace cada quince. Este ritmo de duplicación, que se puede apreciar claramente en el número de citas recogidas en los principales «Abstracts» científicos, puede utili-

zarse como referencia para distinguir el momento en el que una determinada disciplina alcanza su «modernidad» o, en cierta manera, una especie de madurez. Para la Edafología este punto se alcanza en la década de los cincuenta (fig. 2), aproximadamente unos quince años más tarde que la Biología, treinta que la Química y cuarenta que la Física.

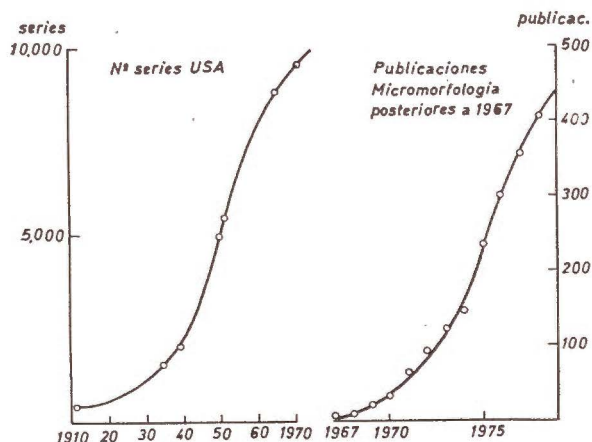


Fig. 4.—Evolución del número total de series definidas en USA y del de publicaciones sobre Micromorfología recogida en S & F desde 1967.

De todas formas, no parece lógico que este ritmo de crecimiento se pueda mantener de forma permanente, y el propio Price predice para la misma un punto de saturación a partir del cual el ritmo de producción debe decaer hasta transformar la curva en un sigmoide (fig. 3). Esta teoría la apoya el autor por un lado en el análisis de los sistemas biológicos, más adaptados a modelos de crecimiento sigmoideal que exponencial, y por otro en el análisis de la evolución de aspectos parciales de la ciencia que muestran ese comportamiento. En la literatura edafológica se puede mostrar igualmente algunos casos donde se aprecian síntomas de la citada saturación. Por ejemplo en la figura 4, se puede distinguir como el número de series definidas en USA y el número de publicaciones referentes a micromorfología parecen manifestar dicho comportamiento. De todas formas, de confirmarse esa tendencia, las causas de la saturación serían radicalmente diferentes en los dos casos, en el primero de ellos afecta a la descripción y tipificación de un espacio geográfico determinado y por tanto con una saturación o culminación impuesta por sus propios límites físicos; en el otro caso se trata en cambio de una técnica innovadora que tuvo un éxito indiscutible en el campo de la Edafología y que actuó de catalizador de nuevas investigaciones, pero que también debe alcanzar sus propios límites de creatividad e innovación y con ellos el comienzo de su saturación.

De todas formas la teoría original de Price no ha sido aceptada por todos, y así los autores soviéticos (4) siguen postulando un crecimiento

sostenido, mientras que otros más eclécticos —entre los que se puede incluir incluso las últimas teorías de Price— hablan del crecimiento «escalonado» en el que se mantiene el crecimiento sostenido de la producción científica pero basado en una serie de tramos o «escalones» de crecimiento sigmoideal en el que los períodos de saturación corresponden a cambios cualitativos en el proceso de producción y que en el caso concreto de la literatura científica puede llegar a representar simplemente cambios en los sistemas de información y comunicación.

3. VIGENCIA DE LAS PUBLICACIONES CIENTÍFICAS

Este extraordinario ritmo de crecimiento de la producción científica trae consigo el que la vigencia de las aportaciones o «impacto» que cada trabajo podía introducir disminuye de forma igualmente creciente y progresiva. Este fenómeno puede ponerse de manifiesto analizando la

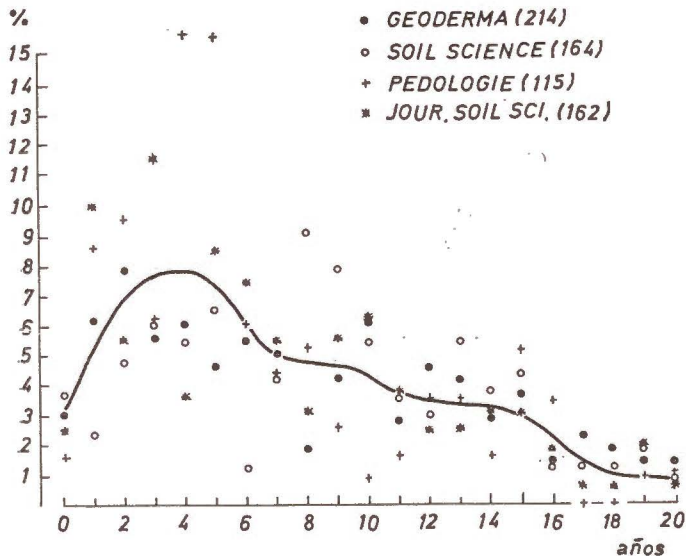


Fig. 5.—Antigüedad de las citas recogidas en 40 trabajos de algunas revistas importantes del campo de la Edafología (tendencia media calculada a partir de medias móviles).

mayor o menor antigüedad de las citas que figuran en las publicaciones científicas o definiendo el concepto de «vida media» (período de tiempo en el que se publica el 50 por 100 de las citas recogidas en cualquier trabajo científico). Aplicada a un conjunto de 650 citas pertenecientes a un total de 40 trabajos de cuatro de las revistas más importantes en el campo de la Edafología, se encuentra el resultado reflejado en la figura 5. En ella se puede apreciar, por un lado, que las citas que aparecen con más frecuencia son las que tienen de tres a cuatro años de antigüe-

dad, descendiendo a partir de aquí de forma progresiva la frecuencia de las mismas. Por otro lado la vida media de esta bibliografía es de seis, ocho años (fig. 6), situando así a la Edafología a mitad de camino entre las disciplinas «tecnológicas» y las «clásicas». Los diferentes autores atribuyen en general la vida media de las publicaciones de las distintas disciplinas a la proporción en la que suelen intervenir en las mismas los trabajos denominados «efímeros» (en general modificaciones de técnicas o escasas aportaciones conceptuales) frente a los «clásicos» (pioneros en innovaciones metodológicas o conceptuales, o síntesis importantes de la materia).

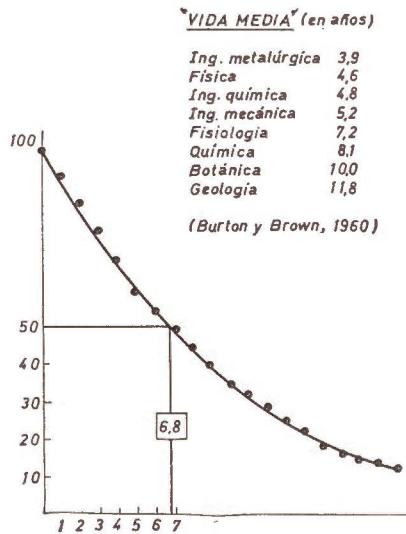


Fig. 6.—«Vida media» de las publicaciones científicas en Edafología.

4. LOS AUTORES

Otro aspecto importante a destacar es el del número de autores, así como el de su productividad particular. Si se analizan sus tasas de crecimiento se ve que siguen ritmos prácticamente paralelos, con un ligero descenso de su número en los últimos años (la relación número de autores/número de trabajos era de 0,98 en 1950, 0,89 en 1960 y 0,88 en 1970. Este hecho, que parece indicar que en términos muy simples cada autor debe publicar aproximadamente un trabajo al año, debe ser matizado por dos circunstancias que aparecen modernamente en la estructura productiva de los trabajos científicos. Por un lado, se aprecia que el número de trabajos en colaboración se incrementa progresivamente de año en año, de tal forma que en la actualidad más del 50 por 100 de los trabajos se publican en colaboración (6). Esto se puede ver en el campo de la Edafología, al comprobar la evolución de los trabajos en colaboración pertenecientes a la sección «Sistemática y Génesis» del S & F (fig. 7).

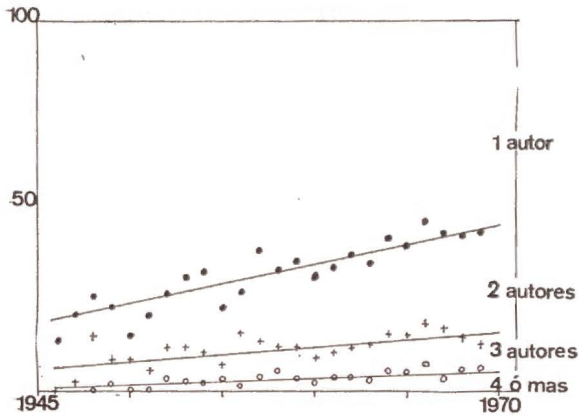


Fig. 7.—Evolución del número de trabajos en colaboración de la sección correspondiente a «Sistemática y Génesis» del S & F desde el año 1945 al 1970.

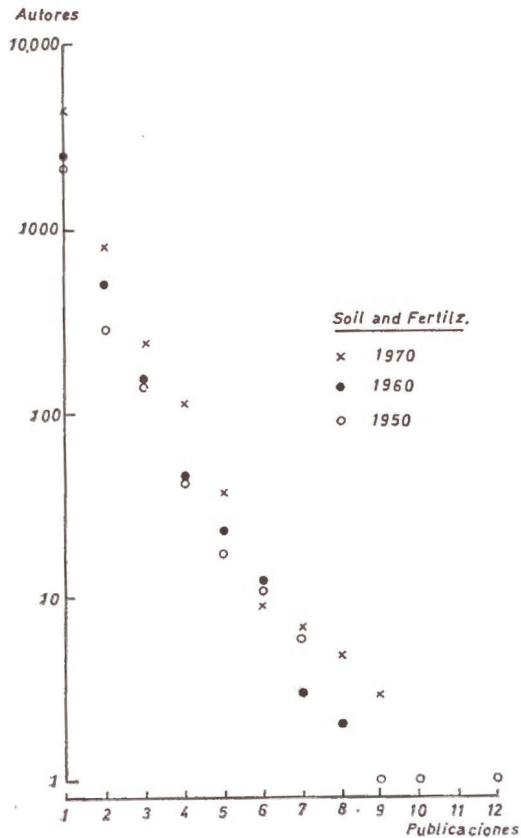


Fig. 8.—Relación entre el número de autores y su productividad en literatura científica medida en el S & F en los años 1950, 60 y 70.

Por término medio se puede afirmar, que en la actualidad cada trabajo es realizado entre 1,75 y 2 autores. Por otro lado se encuentra que la distribución de los autores según su grado de productividad sigue una relación muy característica de tipo semilogarítmico (conocida en general como ley de Lotka (6)), de tal forma que los muy productivos aparecen en número muy escaso en contraposición con los pequeños productores, que son extraordinariamente abundantes. En la ciencia del suelo se puede demostrar claramente esta relación al comparar autores de diferente producción anual en los años 1950, 1960 y 1970, destacando de forma evidente en dicha relación el papel importante jugado por el reducido número de los «grandes productores».

5. TRABAJOS «CLÁSICOS» Y ESCUELAS

Ya se vio que en general los trabajos científicos podían dividirse en «efímeros» y «clásicos»; pues bien, en general, estos últimos son realizados casi en exclusiva por los grandes productores, en los que parecen reunirse por tal motivo las características de cantidad y calidad de producción. La detección de estos trabajos «clásicos» se puede realizar fácilmente analizando el sistema de referencias de un determinado tema durante, por ejemplo, un período de tiempo dado o durante un congreso monográfico, etc. En el ejemplo de la figura 9 se recogen los correspondientes al Congreso sobre «Estructura y función de las sustancias

SOIL HUMUS SUBSTANCES Wageningen, 1972

- 1... Andrájewski
- 2... Chau
- 3... Cramwell
- 4... Flaig
- 5... Jessing
- 6... Laand
- 8... Isiwatary
- 9... Jansson
- 10... Kemp
- 13... Mc Laren
- 12... Martin
- 17... Povoleto
- 19... Salfeld
- 21... Schnitzer
- 24... Sway

- A... Chesire
K... Kononova
W... Waksman
F... Felbeck
R... Rasid
S... Stevenson

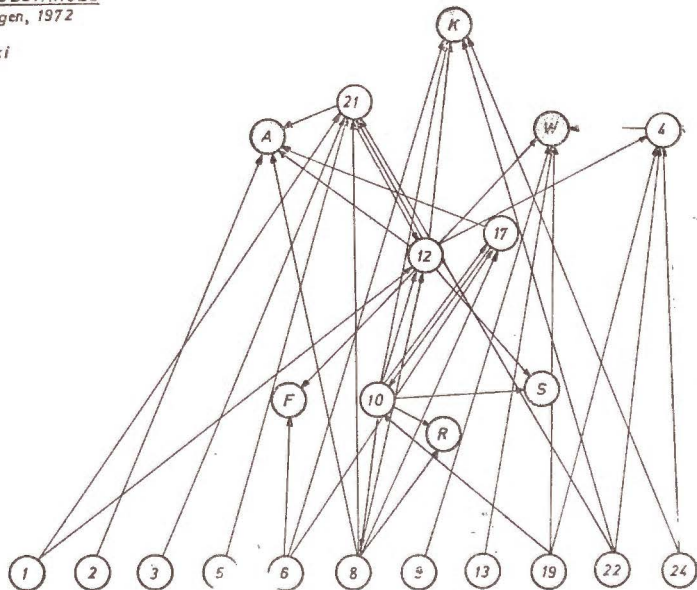


Fig. 9.—Relaciones de referencias establecidas entre los principales colaboradores del congreso de «Humic Substances» de Wageningen, 1972.

(Con letras se señalan autores citados no asistentes al Congreso.)

húmicas», celebrado en Wageningen en 1972, y en el que se puede apreciar como sólo seis autores concentran el 93 por 100 de las relaciones de referencias establecidas.

Esta agregación o concentración de las citas sobre determinados autores o trabajos, introduce el tema de las escuelas o «colegios invisibles» —como se los denominan en la obra de Price—, según las distintas disciplinas científicas. Estas en general se articulan u orientan por factores derivados de la aceptación de un determinado desarrollo conceptual o metodología científica específica, pero también, y es un aspecto que interesa destacar en sociometría, por factores extracientíficos, tales como pueden ser las barreras idiomáticas, que tienden a que las citas dentro del mismo idioma tengan mayor peso que las de idiomas ajenos. Esto de todas formas está también muy relacionado con la productividad de las distintas áreas idiomáticas, y así Nalimov y Mulchenko (4), en un importante trabajo realizado sobre este tema, llegan a la conclusión de que el porcentaje de citas «internas» (pertenecientes al mismo idioma que el trabajo original) es del orden del 80 por 100 en los artículos americanos y británicos, del 50 en los soviéticos, 35 en los publicados en Alemania Occidental, y de 20 para los franceses.

Un factor de agregación y concentración de citas, específico de las disciplinas geográficas (que tienen como objeto, en alguna medida, el estudio del territorio) entre las cuales se encuentra evidentemente la Edafología, es el de la «territorialidad» o similitud en las condiciones y características que determinan los rasgos de un territorio determinado. De esta forma, se encuentra que p. e. las citas de países que tengan en común un determinado tipo de clima (p. e. tropical) o de geología (p. e. terrenos volcánicos) se interrelacionan de forma específica entre sí.

6. LOS CAMPOS DE ESPECIALIZACIÓN

El análisis de la evolución de las distintas especializaciones dentro de la Edafología, determinado a partir de los datos de S & F desde el año 1945, se puede apreciar en la figura 10, a partir de la cual se pueden deducir las siguientes conclusiones:

a) Al comienzo del período, es decir al término de la segunda guerra mundial, las especializaciones predominantes eran la Química del Suelo y la Fertilidad, observándose desde entonces un lento decrecimiento en importancia, sobre todo de la última, ya que la Química parece experimentar en los últimos años una cierta recuperación.

b) En contraposición, la Biología del suelo y, sobre todo, la Sistemática, experimentan un crecimiento gradual y significativo.

c) Las Técnicas y Análisis manifiestan una expansión destacable hasta el año 1955, estabilizándose a partir de este período.

d) La Física del suelo es la más constante de las especialidades, si bien en los últimos años parece manifestar una cierta recesión.

Una interpretación general de estos datos, así como de alguno de los precedentes podría llevarnos a afirmar que en la Edafología existió

un período de consolidación hasta la década de los cincuenta, durante el cual existió una extraordinaria preocupación por los problemas metodológicos (desarrollo importante de las técnicas y análisis), así como un ritmo de crecimiento inferior al de las disciplinas clásicas. A partir de la citada década, sin embargo, se produce un incremento en sus ritmos de producción (se alcanza el significativo período de duplicación de los quince años), y los problemas conceptuales (expansión de la sistemática), pasan a ocupar lugar fundamental. Por otro lado, la disminución progresiva de los trabajos de fertilidad que podría interpretarse como una tendencia a una pérdida de interés por los trabajos de vertiente práctica o aplicada, puede verse influida en los últimos años por una tendencia a recoger estos trabajos de fertilidad en «raports» y boletines internos de escasa difusión y por tanto con una mayor dificultad de localización y recensión en el S & F.

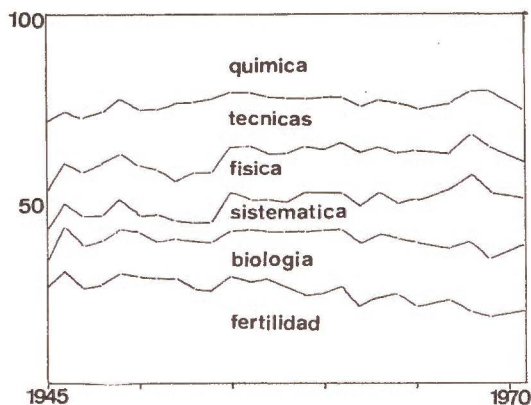


Fig. 10.—Evolución de las distintas especializaciones de la Edafología calculada a partir de los datos recogidos en el S & F desde 1945.

7. CARACTERÍSTICAS REGIONALES DE LA EDAFOLOGÍA

Al considerar el papel que juega la Edafología en el campo de los trabajos de investigación y estudios realizados en las grandes regiones mundiales, se encuentra que entre ellas existen características diferenciales muy destacadas. Tomando como base el trabajo de Yaalon, ya citado, sobre las publicaciones del S & F de los años 1961 y 1962 (8), se encuentra en primer lugar que la distribución cuantitativa por grupos regionales tiene un estrecho paralelismo con el nivel de renta de cada país y en consecuencia con los gastos de investigación que se pueden derivar de la misma (tabla I). Sin embargo, si se compara el número de publicaciones con el de los gastos en investigación agrícola de las distintas regiones, se puede obtener un índice que en cierto modo refleja la dedicación de estos gastos hacia los estudios de suelos, observándose entonces que se establecen diferencias bastante acusadas entre Rusia

(en primer lugar) y la India y el Pakistán (en segundo), con relación al resto de las regiones.

TABLA I

Porcentaje de publicaciones por grupos regionales y renta de los mismos en los años 1961 y 1962 y su relación con los gastos en investigación agrícola (datos de Evenson, R., 1976) de los mismos grupos

	N.º Publ. %	mill. \$	N.º publi./mill. &
USA y Canada.....	21,9	390	1,16
Europa Occidental.....	22,2	190	2,41
URSS.....	23,4	42	11,44
Región mediterránea.....	3,8	28	2,78
India y Pakistán.....	3,3	17	4,15
Japón.....	3,5	62	1,17
Australia y Nueva Zelanda.....	4,5	62	1,59

Al mismo tiempo analizando la distribución de las publicaciones según las distintas especializaciones (figs. 11 y 12) se encuentra que existen diferencias significativas entre los distintos grupos regionales. En el campo de la Química del suelo se aprecia que su desarrollo es significativo en los distintos países, si bien al establecer diferencias entre Mineralogía y Materia Orgánica (fig. 12) se observa que la primera se estudia sobre todo en Norteamérica y Europa Occidental, mientras que a la segunda se le da una preponderancia especial en Rusia. Con relación a la Física del suelo se observa que su desarrollo es predominante en las regiones más ricas, explicando Yaalon este hecho por la circunstancia de que las técnicas en dicha especialidad son más sofisticadas que las generales de Química, y que normalmente se incorporan a los laboratorios en una segunda etapa de desarrollo, que obviamente no parece haberse desarrollado significativamente en los países más pobres. En Biología del suelo son Europa Occidental y Rusia sus cultivadores fundamentales. Finalmente en Génesis y Sistemática destacan dos grupos de países, por un lado Rusia, y por otro Australia y Nueva Zelanda, y el grupo 9, en el que se localizan fundamentalmente los países de América Latina y África. Esto parece indicar, por un lado la continuación de una línea de trabajo tradicional (el caso de Rusia), mientras que por otro (el resto de los países) parece reflejar una preocupación especial por el conocimiento de los suelos de las partes menos conocidas del mundo.

8. LA EDAFOLOGÍA EN ESPAÑA

Como es bien sabido, los estudios científicos del suelo hispano comenzaron en la década de los veinte, con los trabajos pioneros de Huguet del Villar y Albareda Herrera. A partir de esta época y salvado el bache de la guerra civil, la constitución del C. S. I. C. y dentro de él de los

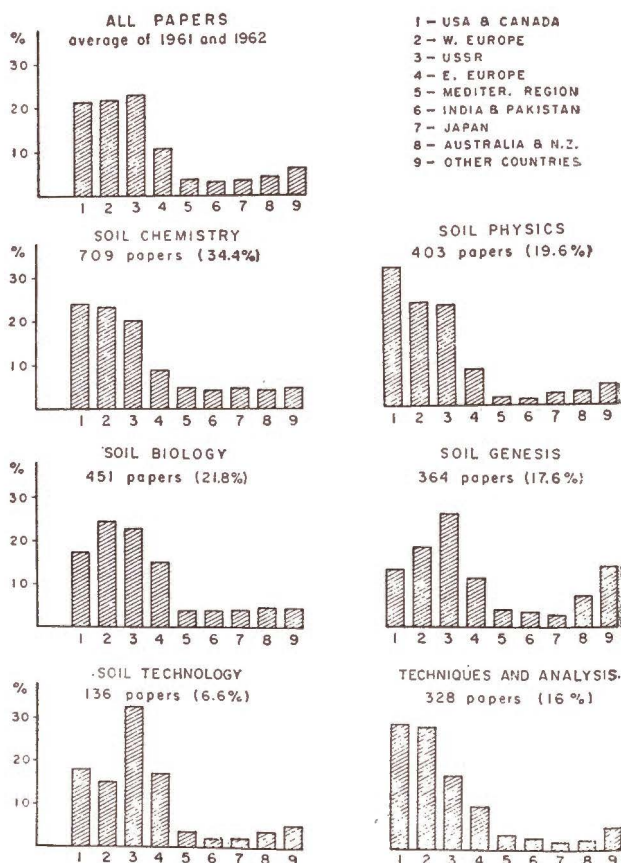


Fig. 11.—Distribución de las distintas especializaciones de Edafología (datos del S & F de 1961 y 1962) en los diferentes grupos regionales (de Yaalon, D., 1964).

diferentes Institutos de Edafología provocó un crecimiento significativo de los estudios de edafología españoles.

El análisis de la literatura científica producida en este campo ofrece una mayor dificultad que en el caso de la literatura mundial, donde la existencia de los S & F simplificaba grandemente el problema. Hubo que recurrir al inventario y clasificación de todos los artículos publicados en los «Anales de Edafología» desde su fundación, donde de forma predominante se edita la producción española, así como la de otras revistas y publicaciones donde con una cierta frecuencia aparecen artículos de edafólogos españoles (*). Para la etapa anterior a los años

(*) Han sido consideradas además de la revista citada anteriormente: Agrochimica, Anales de Física y Química, Anales del I. N. I. A., Trabajos de la Estación Experimental «Aula Dei», Pirineos, y la producción en libros, mapas y monografías del C. S. I. C.

cuarenta se recurrió simplemente a inventariar la producción de solo tres autores: Huguet, Albareda y Tamés. Esta recopilación es de todas formas insuficiente, ya que, entre otro tipo de consideraciones, los resúmenes de publicaciones de los propios centros del C. S. I. C. de diferentes años llevan a estimar esta producción como muy superior. (En la fig. 13 está representada esta tendencia estimada al mismo tiempo que el total de la producción inventariada). En términos generales se podría señalar, admitidos los supuestos anteriores, que hasta los años

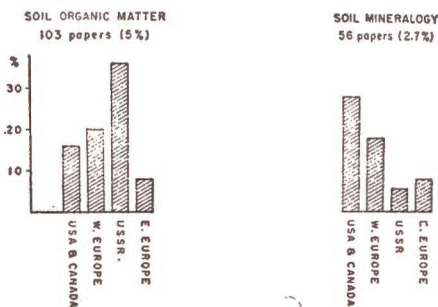


Fig. 12.—Incidencia relativa de las especializaciones «Mineralogía» y «Materia Orgánica» en los distintos grupos regionales.

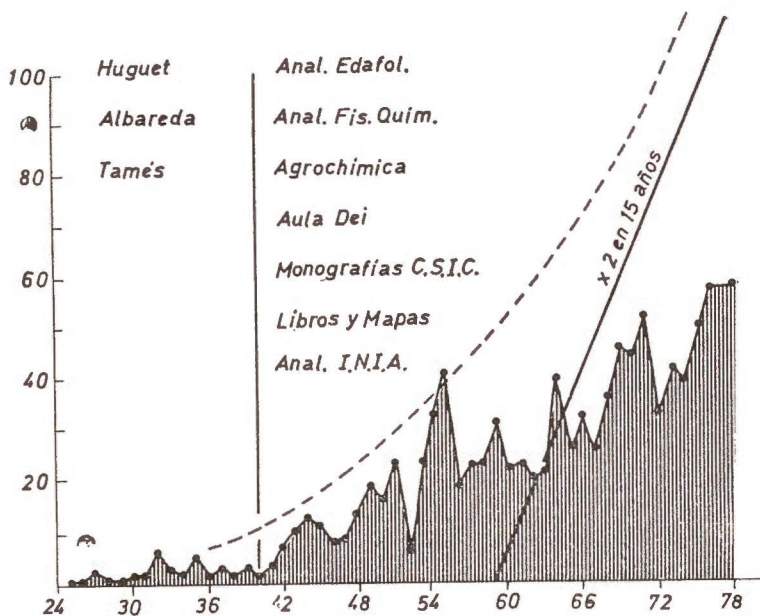


Fig. 13.—Evolución de la producción de literatura edafológica española de acuerdo con el inventario señalado en el texto (zona rayada) y tendencia real estimada de la producción (línea rayada).

setenta la recopilación efectuada recoge aproximadamente el 50 por 100 de la producción total, disminuyendo ampliamente este porcentaje en los últimos años, como consecuencia indudable de no haberse incrementado el volumen editorial de las revistas inventariadas, y si en cambio el de la producción real.

Si se acepta como aproximadamente válida la citada tendencia, se observará que el ritmo de duplicación de los quince años se alcanza prácticamente en la década de los setenta, lo que supone un retraso de unos quince años con relación al ritmo de crecimiento mundial; este hecho nos permite afirmar que sólo hasta hace relativamente muy pocos años, la edafología española como institución productiva de literatura científica alcanzó un grado de consolidación y desarrollo similar al que tenía la Europa Occidental de los años cincuenta. Por otro lado el porcentaje de artículos publicados en revistas extranjeras parece que experimentó un lento pero sensible incremento en los últimos años, situándose esta proporción alrededor del 25 por 100 de la producción total.

Para investigar la distribución de esta producción entre las distintas especializaciones, se recurrió por un lado a la clasificación de todos los artículos inventariados según los criterios de los S & F y, por otro, a la Memoria que el Patronato «Alonso de Herrera» editó en el año 1974 (6) y en la que de forma específica se analizaba esta distribución. Como los sistemas de clasificación de las especializaciones no eran idénticos hubo que realizar una mayor simplificación de las mismas para poder hacer comparables los resultados, que se expresan en la tabla II. En ella se observa que a pesar de la diferencia en los resultados, queda sin embargo muy de manifiesto en cualquiera de ellos el escaso desarrollo que reciben las especializaciones clasificadas como Física del Suelo y Biología del Suelo. Este hecho, de acuerdo con la citada interpretación de Yaalon, debería ser atribuido al escaso grado

TABLA II

Comparación entre la distribución de artículos españoles en las diferentes especializaciones de la Edafología (según diferentes fuentes) y la producción media mundial reseñada en el S & F

	Producción española			Pr. mundial %
	Invent. total %	Invent. 70, 71, 72 %	P. A. H. 70, 71, 72 %	
Química, Físico Química Mineralo- gía y mat orgánica.....	61	55	46	34
Física del suelo....	4	5	12	18
Génesis, sistemática y cartografía.	34	34	33	26
Biología del suelo	1	6	9	22

de desarrollo que todavía tiene la Edafología en España, y que por tanto tiende a desarrollar dichas especializaciones en etapas posteriores de su evolución; sin embargo, creemos que también se pueden atribuir a deficiencias estructurales de las propias instituciones científicas, así como a una falta de planificación y coordinación que promueva un desarrollo equilibrado y racional de dichas especializaciones.

Igualmente, si se trata de clasificar los citados trabajos de acuerdo con los conceptos de ciencia aplicada y ciencia básica (*), se encuentra que la distribución de la misma en algunos centros del país es la siguiente:

	Inv. básica %	Inv. aplicada %
(75 y 76) Salamanca (IOATO).....	42	58
(74 y 75) Granada (Zaidín).....	40	60
(75 y 76) Sevilla (El Cuarto).....	51	46
(64 y 65) Madrid (Inst. Edaf)... ..	50	50
(54-77) Santiago (C. S. I. C.).....	40	60
Valor medio.....	44	56

NOTA.—Esta tabla se calculó sobre los trabajos reseñados en las memorias de los centros citados y para los años indicados.

El valor medio resultante muestra unos valores que parecen representar un excesivo desarrollo de las investigaciones básicas frente a las recomendadas para un país de desarrollo intermedio como es el caso de España (fig. 14).

9. CONCLUSIÓN

A pesar de todas las deficiencias y problemas que puede plantear el método empleado, parece quedar suficientemente claro que la Edafología a nivel mundial ha superado la fase inicial metodológica, y que se ocupa en la actualidad de problemas más conceptuales, como son los de Sistemática, en cuyo campo existe desde la aparición de la «Soil Taxonomy» una profusión de artículos tratando de encontrar un sistema válido, tanto desde un punto de vista práctico como teórico para la clasificación de todos los suelos del mundo.

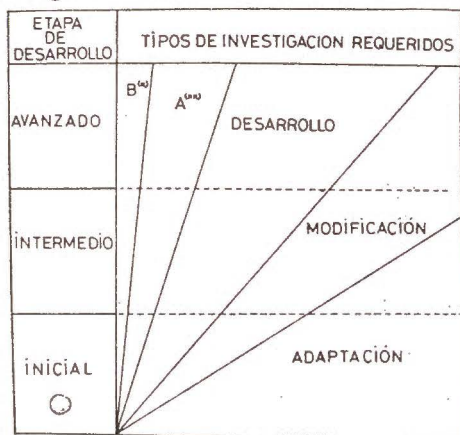
La Edafología en España, por otro lado, manifiesta un desfase evi-

(*) Se toma como definición de estos conceptos los propios formulados por el Patronato A. H. (6): .

Investigación básica: aquella que se realiza con el único fin de ampliar el conocimiento científico del tema tratado, sin que se considere, por lo menos en primer término, la utilidad económica de la investigación.

Investigación aplicada: aquella que se realiza con una finalidad, directa o indirecta, de utilidad económica.

dente con relación a la producción mundial, pero que sin embargo no parece específico de la misma, sino que dependería más bien del escaso desarrollo que experimentó en los últimos años el conjunto de la producción científica española (fig. 15). Lo que sí en cambio parece específico de esta disciplina en España es el desequilibrio que se manifiesta entre las distintas especialidades, lo que planteará graves problemas es-



(a) BÁSICA
(b) APLICADA

Fig. 14.—Relación entre los diferentes tipos de investigación según el grado de desarrollo del país (García de la Banda, 1978).

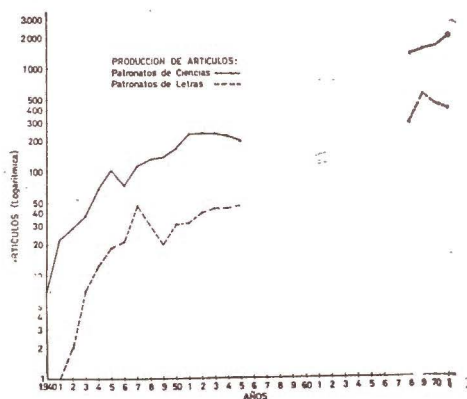


Fig. 15.—Evolución de la producción de artículos en revistas del conjunto de los Patronatos del C. S. I. C. (Grupo Murciano de Investigación, 1974).

tructurales, que de cara a futuras e inmediatas etapas de desarrollo sería urgente corregir.

RESUMEN

Se realiza un análisis de la literatura científica en Edafología a partir de la recopilación realizada en el *Soil and Fertilizers* desde el año 1945 hasta la actualidad. Se destaca la forma de crecimiento exponencial que a partir de los años cincuenta alcanza el significativo ritmo de duplicación de los quince años definido por Price, discutiéndose asimismo la posibilidad de que se produzca una saturación del proceso de crecimiento a partir de algunos ejemplos significativos. Se analiza la vigencia de las publicaciones calculando su «vida media» característica y que lo sitúa a nivel intermedio entre las disciplinas tecnológicas y las clásicas. Se estudia la productividad de los distintos autores demostrándose su ajuste a la ley de Lotka y finalmente se realiza un análisis de las características nacionales que puede presentar la producción científica en Edafología. Se concluye con una primera aproximación al estudio de la Edafología en España, donde se pone de manifiesto un cierto atraso con relación al nivel de producción mundial, así como un claro desequilibrio entre las distintas especialidades de la misma.

Departamento de Edafología. Universidad de Santiago.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) EVENSON, R. E., KISLEV, Y. Investigación Agrícola y Productividad. Ed. Tecnos, Madrid, 1976.
- (2) GARCÍA DE LA BANDA, F. Evaluación y selección de proyectos en «Metodología del proyecto de Investigación». Centro de Fundaciones, Madrid, 1978.
- (3) JACKS, G. V. (1966). The Literature of Soil Science. *Soils and Fertilizers*. XXIX, 3 (227-230).
- (4) LÓPEZ PIÑEIRO, J. M. El análisis estadístico y sociométrico de la literatura científica. Centro Document. Inform. Médica, Valencia, 1972.
- (5) PATRONATO «ALONSO DE HERRERA». (1974). Directrices generales sobre política científica del Patronato. C. S. I. C., Madrid.
- (6) PRICE, D. J. S. Hacia una ciencia de la Ciencia. Ed. Ariel, Barcelona, 1973.
- (7) SOIL AND FERTILIZERS. (1955). XVIII The Research Factory, 4 (275-279).
- (8) YAALON, D. H. (1964). Has soil research national characteristics. *Soil and Fertilizers*. XXVII, 2 (89-93).
- (9) GRUPO MURCIANO DE INVESTIGACIÓN (1974). Investigación y Democracia. Triunfo, XXIX, 639 (26-31).

ESTUDIOS RECAPITULATIVOS

LOS EFECTOS DEL REGIMEN HIDRICO Y DE DISTINTOS NIVELES DE FERTILIDAD SOBRE EL RENDIMIENTO, CALIDAD Y TAMAÑO DEL TOMATE DE INVIERNO

III. LOS EFECTOS DEL RIEGO EN EL CULTIVO DEL TOMATE

por

V. HERNANDO y B. ORIHUEL GASQUE

SUMMARY

THE EFFECTS OF IRRIGATION ON TOMATO PLANTS. A REVIEW

Irrigation problems are exposed and the methodology used in the study of their effects is summarized.

The effects of water régimes on the aerial and root growth, yield, quality, size of fruit and the level of incidence of some tomato physiological diseases, are reviewed.

The salinity effects are also reviewed pointing out the analogy between the use of dry régimes, with non saline waters, and the effects of soil or water salinity.

INTRODUCCIÓN

Al objeto de realizar un trabajo de campo sobre la fertilización y el riego del tomate de invierno de Alicante, se llevó a cabo previamente una revisión sobre los efectos del riego con agua no salina. Dado que en algunos de nuestros experimentos se usaron aguas salinas, este estudio se hace también extensivo a dichas aguas.

Como fuentes importantes en la revisión hemos utilizado las obras de Salter (77), Salter y Goode (78), Kramer (50), Richards y Wadleigh (68) y otras (22) (93) (92) (23). En diferentes revisiones (66) (115) (16) (52), también se estudian aspectos distintos del tema. De aquí se han tomado algunas de las ideas expuestas.

Es bien sabido que el suelo muestra una gran capacidad para tomar y retener el agua cuyo consumo por las plantas depende de su tamaño, de las condiciones climáticas —luz, temperatura y humedad— y del agua útil existente en el suelo. El «potencial hídrico del suelo» está formado, principalmente, por la suma de los potenciales mátrico o capilar y soluto u osmótico que corresponden, respectivamente, a las fuerzas asociadas a las características de la matriz del suelo mediante las que el agua es retenida y a las fuerzas osmóticas asociadas a la solución del suelo (50). Richards y Wadleigh (68) denominaron al primero «tensión de hume-

dad» del suelo y a este último «presión osmótica», llamando a su suma «fuerza total de la humedad del suelo».

En ausencia de precipitación y de pérdidas por escurrimiento superficial y drenaje, la ecuación del equilibrio hídrico es $\Delta W = E$, siendo ΔW la variación en el contenido hídrico del suelo —valor inicial menos contenido final— en el período de tiempo considerado, y E las pérdidas habidas por evaporación (incluyendo transpiración) de las superficies de la planta y del suelo. Midiendo los cambios en el almacenamiento de agua se puede calcular la tasa de evotranspiración (50), que deberá restituirse al suelo. Esta se halla en muy buena correlación con la energía solar recibida por las plantas (66).

La planta del tomate es muy sensible tanto a la falta como al exceso de agua (45) (104) y las cuestiones básicas planteadas serán averiguar: ¿cuándo regar? y ¿con cuánta agua?, pues el régimen de riego afectará profundamente al crecimiento, rendimiento, tamaño y calidad del fruto, grado de incidencia de enfermedades, etc.; y ¿por qué método debe aplicarse ésta?, pues todo ello tendrá importantes consecuencias en la rentabilidad del cultivo.

METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

Para responder a tales cuestiones era necesario el estudio científico de los efectos del riego, estableciendo el concepto de un reproducible «régimen de riego». Un experimento de riego reproducible, sin aparatos para medir la humedad del suelo, sólo podría realizarse variando el intervalo entre cada dos riegos consecutivos o manteniendo fijo dicho intervalo y regando con volúmenes variables de agua. El concepto de régimen de riego parece que se debe a Veihmeyer, 1927 (94), y había sido aplicado con resultados beneficiosos sobre diversos cultivos (4) (100) (47) (44) (89) (102). Posteriormente fue definido en 1953 para tomates, por Hudson y Salter (41), como un sistema de riego en el cual se permite que la humedad fluctúe entre un valor fijo, la capacidad de campo, y un nivel de sequedad predeterminado, «punto seco crítico» —indicado por la tensión de humedad—, alcanzado el cual, se rehumedece para llevar todo el suelo hasta su capacidad de campo, pero evitando el drenaje del agua en exceso y en consecuencia su lavado (42). Colocando tensiómetros a diferentes profundidades se aseguraban de que todo el suelo había quedado rehumedecido. Como valor fijo tomaban la «capacidad de campo», dado que por la aplicación de agua a la superficie de un suelo no resulta posible llevar todo su volumen a otro estado uniforme de humedad que éste (94) (96) (35) (36).

Con el fin de evitar los riegos por lluvia, trabajaban en invernadero, estudiando los efectos de diferentes, definibles y reproducibles regímenes de riego y describiendo técnicas que permitían someter las plantas del tomate a regímenes consistentes desde la fructificación hasta la senescencia (73) (42).

* Según Kramer (50), el 95 por 100, aproximadamente, de la agua absorbida por las plantas se pierde por transpiración.

En relación con esta metodología dice Salter (77) que «todos los factores que afecten al crecimiento radicular: aireación del suelo, temperatura, nutrientes, densidad, pH, etc., indirectamente también afectarán a la utilización del agua por la planta. Así, es importante que la planta crezca en condiciones que se aproximen al óptimo para otros factores que la humedad del suelo».

Para poder responder a la cuestión de «cuándo regar», generalmente, se utilizan tensiómetros y bloques de resistencia eléctrica plaster de París, los cuales, directa o indirectamente miden el potencial mátrico o capilar. El contenido hídrico de los bloques de yeso cambia con el del suelo y con él la resistencia eléctrica. Son sensibles dentro de unos límites de aproximadamente $-0,5$ a -15 bar de potencial mátrico, siendo más satisfactorios en suelo seco que en uno muy húmedo. El tensiómetro es un excelente instrumento de medida en suelo húmedo; pero cuando el potencial mátrico está alrededor de $-0,8$ bar el aire empieza a entrar en la copa de cerámica porosa, inutilizándola (50). El desarrollo y uso de los tensiómetros fue revisado por Richards (67).

Según Salter (77) deben usarse un número suficiente de instrumentos o muestras, pues cualquier método para determinar la humedad del suelo, puede no dar una descripción precisa de ella, si se aplica en uno o dos sitios solamente. Además deben colocarse cuidadosamente, pues se ha demostrado que cualquier instrumento usado para medir «in situ» la humedad debe instalarse en la zona de máxima concentración radicular, ya que la extracción de la humedad, en general, es proporcional a la densidad de la población de las raíces alimenticias. Salter (77), para los invernaderos comerciales, encontró que la máxima concentración radicular se hallaba entre los 5 y 23 cm., por lo que colocaba los tensiómetros a 15 cm.

Trabajaba con tensiones de 7*, 15, 30 y hasta 60 cm. Hg. Estas lecturas indicaban que el 5, 35, 50 y 60 por 100 del agua utilizable había sido separada del suelo, respectivamente, en la proximidad de los tensiómetros.

Kramer (50) describe con detalle estos y otros procedimientos entre los que destacaremos el moderno de la dispersión de neutrones que ha demostrado su utilidad (39) (58) (87). También se emplean determinaciones que relacionan con el riego distintas variables de la fisiología de la planta: «contenido de humedad foliar» (43), métodos de la turgescencia relativa y concentración de savia celular (25) (101), etc.

La segunda cuestión. «¿con cuánta agua?», la resolvieron en 1952 solo por cálculo (41) (77), conociendo:

a) El % de humedad en la capacidad de campo —Veihmeyer y Hendrickson (97) han revisado los métodos de medida de la capacidad de campo—. b) La «curva característica» de la humedad del suelo en cuestión. c) El volumen de agua —K— equivalente al uno por ciento de humedad por cada dm^3 de suelo. d) La profundidad de penetración radicular p hallada mediante la técnica de Veihmeyer (95). Partiendo

* 7 cm. Hg. es un valor muy próximo a la capacidad de campo, bajo el régimen «húmedo» y 60 cm. Hg. es el «punto seco crítico» en el régimen «seco».

de estos datos calculaban (77), en cada caso, el volumen v de agua necesario para llevar, a su capacidad de campo, 1 dm^3 del suelo, desde una tensión de $x \text{ cm. Hg.}$, a una profundidad de $p \text{ dm.}$, siendo H el porcentaje de humedad a su capacidad de campo. Así el volumen necesario será: $v = K (H - x) p$.

Posteriormente, mediante lisímetros, medían cualquier exceso de agua de gravitación y comparaban el valor teórico calculado con el real necesario para evitar el drenaje, determinando así las tasas de evotranspiración.

ΔW puede determinarse, indirectamente, mediante el uso de parámetros meteorológicos y de evaporímetros. Así Hudson (40), halla muy buenas correlaciones entre las tasas de evotranspiración y el agua evaporada en placas petri. También se utilizan fotómetros (92) y otros instrumentos (85) que se gradúan de forma que indiquen las necesidades de agua.

Directamente también se puede conocer ΔW mediante el empleo de lisímetros flotantes o de pesas.

En el caso de que se utilicen aguas salinas o suelos salinos, por «efecto osmótico», disminuirá la entrada de agua en la planta. Tal disminución tenderá a ser máxima cuando juntamente con la existencia de salinidad se emplee un régimen seco de riego.

Aplicando el agua mediante métodos distintos: goteo, riego con manguera, aspersión, por surcos, por sub-irrigación, etc., se trata de hallar respuesta a la 3.^a cuestión, pues como decía Salter (73), más importante que la cantidad de agua es cómo se aplica ésta. A este aspecto del trabajo le prestamos poca atención en esta revisión.

EL RIEGO EN LAS DIFERENTES FASES DEL DESARROLLO

Kramer (50) señala como evidente que la tensión o déficit hídrico de las plantas, en general, produce efectos totalmente diferentes en las distintas etapas del ciclo de crecimiento, cuestión ésta que revisan Salter y Goode (78). Así, para el cultivo del tomate en invernadero, se señala que la necesidad de riego cambia considerablemente al iniciarse el desarrollo del fruto (78). Y Russell (70) dice: «cuando la planta es joven, el suplemento de agua por encima del mínimo, ordinariamente, no sólo se desperdicia, sino que puede tener efectos perjudiciales sobre la estructura del suelo y la aireación de las raíces». Al respecto, Rey y Costes (66) hacen notar que, en el tomate, el riego demasiado temprano, anticipado a las necesidades de la planta, disminuye el crecimiento y que tales necesidades varían en las diferentes fases de cultivo.

Fue Bewley (1928) (7) quien primero sugirió que el riego intenso después del trasplante debe diferirse hasta que haya cuajado el segundo racimo de flores. Hasta entonces recomendó que sólo se aplicasen pequeñas cantidades de agua, a intervalos frecuentes, práctica ésta conocida como «riego del cepellón»*. Indica que, durante este período, el crecimiento vegetativo puede ser controlado fácilmente variando la can-

* «ball watering», en inglés.

tividad de agua aplicada (8). Alternativamente, Bacher, 1940 (5), sugiere que las plantas de tomate deben plantarse en suelo húmedo y luego no regarse más hasta que empiezan a crecer los frutos, después de lo cual, debe darse poca agua, hasta el inicio de la recolección. Entonces debe adoptarse un riego más libre con el fin de aumentar el rendimiento y el tamaño del fruto.

A resultados parecidos llega Salter, en 1957 (75), al estudiar los efectos de regímenes alternos de riego, aplicados ahora en las diferentes fases del desarrollo de la planta. El período entre plantación y senescencia lo divide en 3 fases fisiológicas, a saber: (I) Desde la plantación al inicio del cuajado del fruto: aquí domina el crecimiento vegetativo. (II) Desde el inicio del cuajado hasta que empieza la recolección: compiten crecimiento vegetativo y desarrollo del fruto. (III) Desde el inicio de la recolección hasta la senescencia. Señala que el mayor crecimiento se produjo bajo el régimen «húmedo» aplicado en las fases II y III, o sea, cuando el suelo útil ha sido ya totalmente ocupado por las raíces; pero que no se manifestó efecto alguno al final de la fase III. Sin embargo, en los primeros treinta o treinta y cinco días después de la plantación, es decir, cuando las raíces se están todavía extendiendo en el suelo —o sea, durante el «riego del cepellón» (fase I)—, el régimen «húmedo», comparado con el «seco» y con el testigo sin riego, no dio respuesta respecto del crecimiento. Después del trasplante, Toowey y otros (92) recomiendan sólo el humedecimiento superficial de las plantas indicando que, el riego entre trasplante y la aparición de primeras flores, debe reducirse al mínimo, pues puede tener influencias adversas sobre los rendimientos tempranos. De ahí que Salter (75) postule que «un régimen de riego continuo, sea «húmedo» o «seco», proporciona mejores condiciones para el crecimiento de la planta que regímenes variables, en los cuales el tipo de sistema radicular desarrollado bajo un tratamiento temprano se adapta peor a las condiciones existentes más tarde». El cambio más perjudicial será el paso de un régimen «húmedo» —con la mayoría de las raíces en la capa superficial— a otro «seco».

Salter (76), posteriormente, demuestra que en la fase III, no sólo la humedad del suelo tiene marcada influencia sobre el desarrollo vegetativo, sino que la tiene también la «carga de fruto».

Siempre todo ello se entiende bajo condiciones normales de fertilidad del suelo y no existiendo otros factores limitantes del desarrollo.

EFFECTOS DE LOS REGÍMENES DE RIEGO SOBRE EL CRECIMIENTO AÉREO Y RADICULAR

Crecimiento aéreo

Sin salinidad

El crecimiento de las plantas, en general, se halla controlado directamente por la tensión o déficit hídrico de éstas y solo indirectamente por las tensiones hídricas del suelo y de la atmósfera (50). La disminu-

ción del contenido hídrico en las plantas, viene acompañada de pérdida de turgencia, cierre de estomas, reducción de fotosíntesis, interferencia con muchos procesos metabólicos básicos, etc. (50) (101) (23).

El término «vigor» se relaciona con el tamaño de hojas y folíolos, altura de planta, diámetro de tallos, etc. Los resultados de diversos autores (99) (59) (1) (92) (23) (3) (24), son muy consistentes en el sentido de afirmar que bajo régimen «húmedo», en general, el vigor crece notablemente y ocurre lo contrario bajo régimen «seco». Esto es válido también para el crecimiento de los semilleros (88).

Salter (73) señala aumentos muy significativos en el crecimiento vegetativo cuando la tensión de humedad no excedía los 7 cm. Hg. frente al tratamiento con riego a los 15 cm. Hg., siendo ya mucho menores las diferencias de crecimiento existentes entre esta última tensión y las de 30 cm. Hg. y 60 cm. Hg. A este respecto, Hudson, Salter y Majmudar (42) afirman que «el crecimiento de la planta de tomate se resiente mucho antes que la planta muestre signos visibles cualesquiera de escasez» por falta de humedad en el suelo.

Posteriormente señala Salter (76) que a medida que crece la «carga de fruto» se va reduciendo la tasa de crecimiento del peso seco, llegando a demostrar que los regímenes de riego y la «carga de tomate» tienen un carácter aditivo respecto del desarrollo vegetativo de la parte aérea. El desarrollo más débil se producirá cuando coincida un régimen seco con una cosecha abundante.

Sin embargo hay que tener presente que mantener constantemente el suelo a su capacidad de retención de agua tampoco da los mejores crecimientos (45). Este exceso de humedad puede determinar una falta de aireación radicular que se sabe ocasiona daños a la planta (46) (50).

Annicchiarico (3), manteniendo la humedad del suelo al 90 por 100, 60 por 100 ó 30 por 100 de la capacidad de campo, halla una correlación positiva entre el nivel de humedad y: los pesos secos y frescos de plantas; el número de hojas por planta; los pesos medios, secos y frescos, por hoja; el área foliar y consumo total de agua por planta. En casi todos los casos las diferencias entre el nivel de humedad mayor y los otros niveles, resultaron altamente significativas. El porcentaje en «materia seca» fue significativamente más bajo en las plantas que recibían riego elevado, que en las otras.

Bodil Friis-Nielsen, 1970 (29), señala que los descensos en rendimiento de materia fresca y seca debidos a la creciente duración de la deficiencia en agua, fueron relativamente mayores en la fresca que en la seca, lo que concuerda con las observaciones de Bierhuizen (10).

Por todo lo dicho, la restricción de agua —«método seco»—, se emplea (23) para controlar el crecimiento vegetativo, produciendo un mayor crecimiento generativo —formación de flores—.

El exceso de agua en la planta, al aumentar su porcentaje en los tejidos, disminuye el de materia seca y conduce al crecimiento vegetativo: formación de tallos, hojas y raíces —planta blanda y succulenta (23) (15)— y a desarrollos y crecimientos máximos. A su vez, la falta de agua produce efectos contrarios —planta dura (15)— y favorece la aparición de trastornos tales como el agostado de las flores (92), que se agrava con baja humedad del aire (78). En general, en cualquier plan-

ta (50), el déficit hídrico produce hojas gruesas, correosas y muy cutinizadas: follaje xeromórfico. En la planta de tomate se suceden los períodos de crecimiento vegetativo —formación de tallos, hojas y raíces—, con los de crecimiento generativo. Es importante que ambos crecimientos estén armonizados: planta equilibrada, que produce el máximo rendimiento y calidad (23) (92).

Sin embargo, en 1966, Cooper y otros (17), comparan el efecto de un régimen «seco», regando solo para evitar el marchitamiento, frente al «húmedo», manteniendo el suelo a su capacidad de campo. Como método de riego se usó el de «goteo». Y aquí, bajo el régimen «seco», las plantas crecieron más rápidamente y dieron plantas y hojas de más longitud. ¿Cómo aquí el régimen «seco» favoreció el crecimiento vegetativo? Los autores explican la anomalía diciendo que, en el riego por goteo, el régimen «seco» favoreció la frecuencia del ciclo «húmedo-seco», el cual endureció la planta y aumentó la eficiencia de la fotosíntesis.

Con salinidad

Dicha restricción de agua también puede lograrse indirectamente mediante el «control osmótico». En efecto, es bien conocido que a un aumento en la concentración salina de la solución del suelo corresponde una disminución en el vigor de la planta y, en consecuencia, del crecimiento de la planta del tomate (34) (14) (15) (23). Toowey y otros (92) señalan que con un $pC^* < 2,7$ se frena el desarrollo; mientras que con $pC > 3$ el control del desarrollo es deficiente y las plantas son débiles. Clay y Davison (14) y Clay y Hudson (15) estudiaron 3 niveles de salinidad producidos con una mezcla 3:1 de $SO_4Mg \cdot 7 H_2O$ y SO_4K_2 . Durante la primera parte del cultivo los efectos de la salinidad frenando el crecimiento vegetativo se manifestaron claramente; pero a medida que las sales fueron lavadas por el riego, progresivamente, se hicieron menos marcados. Al aumentar el nivel salino se endurecían las plantas y se arrugaban y retorcían los folíolos del brote terminal. En este último trabajo regaban al llegar a 7 cm. Hg. y para un $pC > 2,9$ las tomatas crecían igualmente bien bajo todos los niveles de salinidad, mientras que para $pC < 2,9$ disminuía el crecimiento. Si antes del riego hubiesen dejado secar más el suelo, al aumentar la tensión de humedad, ya hubiera resultado crítico un grado menor de salinidad, dado el carácter aditivo que sobre el crecimiento poseen ambos componentes de la «fuerza total de la humedad del suelo» (15) (68) (93).

Orihuel (64), en 1965, usando agua con 0,9 g/l. de Cl^- expresados como $ClNa$, sobre las variedades Moss y Exhibition, estudió el efecto de dar el riego cada cinco, diez y quince días. El máximo vigor correspondió en ambas variedades al régimen «húmedo», siendo las diferencias moderadamente significativas respecto del «seco». Hernando y

* El término pC , propuesto por Whittles & Schofield Palmer (103), se define como el logaritmo negativo de la conductividad específica de un extracto suelo/agua, expresado en mmhos. Aquí viene referido al extracto suelo/ H_2O , 1:2,5.

Cadahía (37), en 1973, sobre variedad Marglobe, y utilizando la solución nutritiva de Arnon-Hoagland, modificada con dosis crecientes de ClNa , observan que con 60 y 90 meq/l. el desarrollo era ya muy inferior al testigo.

Shalhevet y Yaron (81), al estudiar el efecto de 4 niveles de salinidad, no hallaron reducción en el rendimiento en peso seco de las parcelas. Esta tendencia ya se observó al estudiar los efectos del riego con aguas no salinas (29) (10).

El crecimiento radicular

Dice Kramer (50) que, en general, el crecimiento de las raíces y su funcionamiento como superficies absorbentes dependen de muchos factores y principalmente de la resistencia mecánica que se ofrezca a su extensión, humedad, aireación, temperatura del suelo, y composición química de la solución del suelo. Un exceso o una deficiencia de agua en el suelo limita su crecimiento y funcionamiento. El exceso produce una deficiencia de oxígeno que provoca su muerte, mientras que la deficiencia interrumpe su crecimiento. La necesidad de oxígeno alrededor de las raíces para el crecimiento de la planta de tomate, ya fue señalada por Russell (70). Al respecto, según Erickson (28), los rendimientos del tomate se reducen muchísimo cuando se ha producido un día de deficiencia de oxígeno al principio de su vida.

La absorción radicular de agua aumenta con la temperatura del suelo hasta un valor próximo a los 18°C y luego vuelve a descender (45).

Señala Salter (75), que el estado de desarrollo de las raíces parece ser que determina la respuesta de esta planta a la humedad del suelo.

Así, Salter y Goode (78) indican que «la planta del tomate es muy sensible a las condiciones de humedad del suelo desde el inicio del cuajado en adelante, y esta respuesta diferencial está relacionada con el tipo de crecimiento radicular, ..., durante la fase de crecimiento radicular rápido, la planta no responde mucho al riego, mientras que al comienzo de la fructificación, cuando casi cesa la actividad radicular, la planta se vuelve muy sensible a la escasez de agua».

La distribución de las raíces depende del régimen de riego. Así, bajo el régimen más húmedo la zona con mayor desarrollo radicular estaba en la capa de 0-10 cm., mientras que bajo régimen más seco esta zona se hallaba a 20-30 cm. (76). Este resultado está de acuerdo con lo que dice Russell (70), en general, atribuyéndolo a la mayor disponibilidad de los hidratos de carbono, para el crecimiento radicular, bajo condiciones secas. Salisbury (71), sin embargo, sugiere que la reducción en el desarrollo radicular en los suelos húmedos es debida, principalmente, a la deficiente aireación.

No sólo el desarrollo sino también la longitud de las raíces que se encuentran a distinta profundidad, varía según el régimen de riego adoptado (42). Bajo régimen «húmedo» —7 cm. Hg.—, su longitud disminuye muy rápidamente a medida que aumenta la profundidad. Entre 0 y 10 cm. hay raíces de hasta 140 cm., mientras que entre 50 y 60 cm. de profundidad dicha longitud no alcanza los 10 cm.; pero bajo el

régimen «seco» —60 cm. Hg.—, dicha longitud aumenta con la profundidad hasta ser máxima —unos 96 cm.— entre 20 y 30 cm. A partir de aquí vuelve a disminuir.

También el grado de penetración de las raíces varía con el régimen de riego. Así (82), para plantas que recibieron riego ligero —1,27 cm.—, se halla una penetración hasta la profundidad de 2,04 m., frente a 1,23 m. para las que recibían riego intenso —7,62 cm.—.

Thorup (90) somete distintas zonas radiculares a niveles diferentes de humedad. En las zonas con un nivel de humedad del suelo muy por debajo del punto de marchitamiento permanente, el crecimiento radicular era muy restringido: 2 cm. de longitud. Al situarse justamente por debajo de dicho punto, la longitud era ya de 9 cm., con desarrollo sustancial de raíces secundarias. Y por encima del mismo las raíces crecieron hasta 15 cm.

- Cuando el régimen «seco» se produce mediante variación del nivel salino, Clay y Hudson (15), al final del cultivo, no hallaron diferencias ni en el número total de raíces ni el tipo de distribución.

LOS RÉGIMENES DE RIEGO Y LOS CARACTERES DE LA COSECHA

Es indudable que, dentro de una misma variedad, los caracteres de la cosecha están estrechamente relacionados con el vigor de la planta. Hemos visto cómo bajo condiciones normales de fertilidad del suelo, aireación radicular, temperatura, etc., el régimen de riego influye en el vigor y éste, a su vez, determinará los caracteres de la cosecha: rendimiento, calidad y tamaño del fruto. Recíprocamente, el vigor y la «carga de fruto» están relacionados estrechamente: al aumentar ésta disminuye aquél y viceversa (76) (63) (23) (49).

Rendimientos

Sin salinidad

Los resultados son muy consistentes en el sentido de admitir que, en general, los regímenes «húmedos» dan rendimientos más elevados que los «secos» (18) (72) (73) (74) (52) (86) (62) (53) (54) (55) (98) (32) (1) (92) (30) (59) (43); pero Scheleusener y otros (80) obtuvieron los rendimientos más elevados permitiendo que, antes del riego, se agotase el 50 por 100 del agua utilizable. Es natural que, en cultivos al aire libre, las diferencias de rendimiento en favor del riego sean significativas, principalmente, en años secos (98) (83). Sin embargo, mantener el suelo constantemente a su capacidad de campo o la excesiva aplicación de agua, puede reducir los rendimientos del tomate (82) (61) (45) al producir una falta de aireación y motivar daños a las plantas (46) (45). En otros cultivos, el efecto perjudicial del exceso de agua de riego sobre el rendimiento también es señalado por Russell (70). Por otra parte, la escasez de agua durante la floración y fructificación, influye

no solamente sobre el tamaño sino también en el porcentaje de fruto cuajado (78), lo que disminuirá el rendimiento.

Ya Corder, en 1942 (18), comparó el efecto de 5 tratamientos de riego sobre el rendimiento y señaló que los rendimientos más elevados se obtuvieron cuando la cosecha se regó durante toda la estación. Regar solamente antes de la recolección fue más eficaz, respecto del aumento de rendimiento, que regar durante la recolección.

Hudson, Salter y Majmudar (42), en 1955, señalan que el rendimiento medio fue 1,45 veces mayor bajo régimen «húmedo» —7 cm. Hg.— que bajo el «seco» —60 cm. Hg.*—. Salter compara varios métodos de riego; y los mejores resultados los obtiene con el «riego por goteo» (73) (75).

Salter (75) al estudiar los efectos de regímenes continuos (húmedos o secos) o alternos de riego (húmedo-seco y viceversa), aplicados en las diferentes fases del desarrollo de la planta, señala que el mayor rendimiento se produjo bajo un régimen «húmedo» —7 cm. Hg.—, aplicado desde el comienzo del cuajado hasta el final (fases II y III). Posteriormente (1958) (76), destaca mucho la importancia de mantener una elevada humedad utilizable en el suelo, especialmente en plantas con mucho fruto. La importancia de la irrigación tardía es también señalada por Vittum y otros (1963) (99), pues, con agua abundante —indispensable en la parte final del proceso de maduración— el hinchamiento del fruto (23) aumentará su tamaño y con él, el rendimiento.

La aplicación de agua a las plantas en la fase I, redujo significativamente el rendimiento final (75). Este resultado está de acuerdo con las recomendaciones de Bewley (8) y Russell (70).

A veces, al actuar diversos factores negativos, el régimen muy húmedo puede reducir el rendimiento:

Así, Malcolm y Harkness (59) en 1958, comparan 13 regímenes de riego. Los rendimientos crecieron con el riego y fueron máximos con 4,0 cm./semana; pero al aplicar el 7,6 cm./semana se redujeron como resultado del lavado del N.

Allerton (2) señala que, en planta de tomate pequeña, desequilibrada hacia el vigor vegetativo, la primera inflorescencia es pequeña y con pocas flores. Si pues por efecto de un régimen muy húmedo se produce un crecimiento exuberante, se puede dificultar la formación del fruto (92), con disminución del rendimiento.

Guttormsen, en 1974 (33), estudia el efecto de diversos factores de riego —mm. de agua añadida por cada mm. de agua evaporada—, comparando los siguientes: 1, 1,5, 2, 3 y 4,5. El rendimiento total fue máximo con el factor de riego 2-3.

El régimen muy húmedo, si va acompañado de «asfixia de las raíces», ocasionará la marchitez de la planta del tomate y una marcada reducción en el rendimiento (45).

* Bajo régimen «húmedo» regaron 136 veces y 5 veces en el «seco», aplicando en el primer caso 1,7 veces más agua que en el 2.º.

En otro experimento (66), aplicando Hudson casi la misma agua en ambos regímenes, obtuvo también mayor rendimiento bajo el «húmedo». Más que el volumen de agua, lo que importa para tener un buen crecimiento y rendimiento es la frecuencia de su aplicación.

Con salinidad

Aunque la planta del tomate posee una tolerancia media a la sal (22), cuando el riego se realiza con aguas salinas o sobre suelos con salinidad, por efecto osmótico, la planta toma menos agua y ello, frente a testigos sin salinidad, se traduce en una disminución del rendimiento (34) (14) (23) (12) (15) (6) (9) (37) (81), o sea que el efecto es análogo al de utilizar un régimen seco con agua no salina. Esta reducción en el rendimiento no mejora por adición de fuertes dosis de yeso y viene acompañada de una mayor velocidad en la maduración (15). Para Dorey (23) puede presentarse a un $pC < 3$. A veces, dicha reducción tiene lugar sin variación en el número de frutos, siendo tan solo consecuencia de una reducción en su tamaño (15) (81).

El Laboratorio de Salinidad de EE. UU. (22) establece que para un valor de la conductividad eléctrica del extracto saturado de 10 mmhos/cm. puede esperarse una disminución en el rendimiento del 50 por 100, cuando se le compara con los rendimientos obtenidos, sobre suelos no salinos, bajo similares condiciones de cultivo. Mientras que Bernstein (6), posteriormente, resumiendo varias fuentes estimó que cuando la conductividad eléctrica del extracto saturado es de 8 mmhos/cm. se obtiene una reducción en el rendimiento del 50 por 100.

Orihuel (64), en 1965, usando agua con 0,9 g/l. de Cl^- expresados como $ClNa$, sobre las variedades Moss y Exhibition al estudiar el efecto de tres frecuencias de riego: cada cinco, diez y quince días, observó que, bajo régimen «húmedo», se produjeron los rendimientos más elevados, resultando muy significativas las diferencias respecto del «seco».

Clay, según Rey y Costes (66), señala al respecto que «es posible obtener rendimientos normales de tomates en suelos conteniendo muchas sales solubles manteniendo la tensión de humedad al mismo nivel débil, mediante riegos frecuentes y ligeros».

En 1969 Bierhuizen (9), en Holanda, al mezclar agua del Rhin con agua del mar, estudia el efecto de la salinidad del suelo, en Cl^- g/l. de solución del suelo a la capacidad de campo, sobre el rendimiento de tomates, expresado como porcentaje de un rendimiento 100, obtenido para 0 Cl^- g/l. Obtiene una correlación inversa entre ambas variables, calculando un coeficiente de correlación r que vale $-0,76$.

En 1973, Shalhevet y Yaron (81), estudiando el efecto de la salinidad del suelo y del agua, encuentran descensos de rendimiento debidos únicamente a la reducción en el tamaño del fruto. Entre el rendimiento total y la conductividad específica del extracto saturado (mmhos/cm.) hallan la siguiente ecuación:

$$y = 111 - 6,2 \text{ CE.}$$

Destacan la concordancia entre estos resultados y los hallados por Van den Ende (27), Bernstein (6) y Bierhuizen (9).

En 1973, Gornat y otros (31) utilizando agua salina $-0,8 \text{ g. } Cl/l.$ demuestran las ventajas del riego por goteo en las regiones áridas y bajo condiciones salinas. Sobre tomate Moneymaker, por goteo, obtie-

nen un rendimiento más del doble que por aspersión. El contenido en Cl^- (meq/g.) en la planta fue unas cuatro veces mayor en el riego por aspersión que en el de goteo, y consideran que la respuesta lograda, parece ser el resultado de un menor efecto salino.

Tamaño

Sin salinidad

El tamaño del fruto, en general, disminuye cuando desde el régimen «húmedo» nos desplazamos hacia el régimen «seco» (62) (101) (33) (114) (60) (13) (79) (91) (32).

Hudson, Salter y Majmudar (42), en 1955, señalan que el porcentaje medio de fruto de tamaño grande resultó 1,79 veces mayor bajo régimen «húmedo» —7 cm. Hg.— que bajo el «seco» —60 cm. Hg.—. Simplemente pasando de 7 a 14 cm. Hg., ya encuentra Woods (114) una dimensión de tamaño.

Los efectos de regímenes alternos de riego, aplicados en las diferentes fases del desarrollo de la planta, son estudiados por Salter (75). Señala que el mayor tamaño se produjo bajo el régimen «húmedo», aplicado desde el comienzo del cuajado hasta el final (fases II y III). El tamaño mínimo lo obtuvo al someter primero la planta al régimen «húmedo» (7 cm. Hg.) entre el inicio del cuajado y el de la recolección (fase II), y luego al «seco» (30 cm. Hg.), desde el comienzo de la recolección hasta el final del crecimiento (fase III).

Como el agua resulta indispensable en la fase final del proceso de maduración —hinchamiento del fruto—, su falta hará disminuir el tamaño (23).

Con salinidad

Análogamente a lo que ocurre bajo los regímenes secos de riego, el uso de aguas salinas o de suelos con salinidad, por efecto osmótico, restringe la entrada de agua en la planta y, en consecuencia, disminuye el tamaño del tomate (12) (15) (81) (23). A veces, el descenso de tamaño se produce cuando se aplican niveles muy elevados de fertilización potásica o potásico-magnésica, lo cual eleva considerablemente la salinidad del suelo (14) (15) (113) (107) (116), o cuando, en general, se eleva mucho el nivel de nutrientes fundamentales (12) (110) (109) o no, como el SO_4Na_2 (12).

Orihuel (64), en 1965, usando agua con 0,9 g/l. de Cl^- expresados como ClNa , sobre las variedades Moss y Exhibition estudió el efecto sobre el tamaño de 3 frecuencias de riego: cada cinco, diez y quince días. En la variedad Exhibition, la diferencia de tamaño entre el régimen «húmedo» y el «seco» resultó moderadamente significativa a favor del primero.

Es indudable que si al régimen «seco» se añade el efecto salino, ambos actuarán aditivamente disminuyendo el tamaño del fruto.

Calidad

Sin salinidad

Con el término genérico «calidad del fruto» hacemos relación a su forma, densidad, color, dureza, acidez, azúcares, porcentaje de sólidos, frutos con maduración irregular o manchado, etc. En general, las distintas variedades de tomate difieren significativamente en los factores de calidad (98) (106).

Es un hecho bien conocido que la calidad del tomate disminuye cuando desde un régimen «seco» pasamos a otro «húmedo» (23) (54) (92). La pérdida de calidad tiene lugar como si, principalmente, fuera consecuencia de un hecho muy demostrado: el descenso del % de materia seca en los tejidos (3) (10) (29) (23) (98), en general, y en el del fruto (83). O sea, por un efecto de dilución, como sugiere Vittum (98), el mismo que al estudiar el crecimiento vimos producía, con agua en exceso, la planta blanda y succulenta.

Este efecto de dilución ocasionaría una disminución: del % de sólidos solubles del fruto (62) (98), de los sólidos comestibles (57), de los sólidos totales (98) (1) (56), del color rojo del fruto (98) (32), de su dureza (62), de las lecturas del refractómetro (79), del % de vitamina C (19) y de la acidez total (98) y valorable (79). Dicho efecto produciría también la deformación del fruto (32).

Así, en apoyo de esta explicación Vittum (98) sugiere el hecho de que el efecto del riego no produjo diferencias significativas en la relación brix-ácido. Al respecto, Sakiyama (79), señala que la acidez valorable, total y combinada expresada sobre la base de materia fresca, fue mínima en los frutos de plantas regadas diariamente y tomó valores más elevados en el de las que recibieron el riego mínimo; pero que la acidez valorable, presentada como porcentaje de la total, no resultó afectada por la cantidad de riego y que cuando tales determinaciones se calcularon sobre la base de materia seca ya no pudieron observarse los efectos del riego diferencial. Por otra parte, este autor no señala cambios en el pH por efecto del riego, lo cual, reforzaría la hipótesis del simple efecto de dilución, dado que, siendo con mucho el K el catión dominante en el fruto y los ácidos cítrico y málico los más importantes del mismo, sus sales potásicas con los ácidos libres, formarían como un sistema regulador (20); pero para Vittum y otros (98), el riego aumentó significativamente el pH.

Para Dorey (23), es la planta equilibrada la que produce la máxima calidad.

Con salinidad

Cuando para el riego se usan aguas salinas, la salinidad del agua produce, indirectamente, análogos efectos que el empleo de regímenes secos de riego, es decir, mejora la calidad del fruto (38) (81): elevación de los sólidos totales, sin variación en el pH (81), aumento de color, dureza, y del % de fruto de forma perfecta (38).

Estos efectos debidos a la salinidad también se producen cuando regando con agua no salina se eleva mucho el nivel de fertilización potásica o potásico-magnésica (15) (110) (69) (14). Clay y Hudson (15), con riego frecuente, mantenían todo el suelo muy cerca de su capacidad de campo —riego a 7 cm. Hg.—. Si hubiesen dejado secar un poco más el suelo, es indudable que las diferencias de calidad —% fruto con maduración irregular—, frente a los testigos sin salinidad, hubiesen sido mayores.

Otras veces es la elevación del total de nutrientes fundamentales, o el simple efecto salino producido mediante la adición de SO_4Na_2 (12) (48), el que logra descender el pC del suelo y mejorar la calidad del fruto.

Para lograr buena calidad el pC del suelo debe mantenerse entre 3,0 y 3,2 (11) (12), o sea $4,0-2,5 \times 10^3$ mhos o a un pC de 3 (23). Según Toowey y otros (92), mediante la inclusión de K y Mg en la fertilización base se debe aspirar a lograr un pC próximo a 2,9. Con pC < 2,7 se frena el desarrollo, disminuye el rendimiento y aumenta la calidad.

Winsor y otros (107) (108) obtuvieron la calidad mínima con un pC de 3,50.

Orihuel (64), usando agua con 0,9 g/l. de Cl^- expresados como ClNa , sobre las variedades Moss y Exhibition, estudió el efecto sobre la calidad, de 3 frecuencias de riego: cada cinco, diez y quince días. Como índice de calidad tomó la deformación del fruto, producida al aumentar los huecos en los lóculos —tomate «hueco» o zocate—. El fruto de la variedad Exhibition se deformó 3,6 veces más que el de la Moss. En ambas variedades el mayor % de fruto deforme correspondió al régimen «húmedo» y en la variedad Exhibition, las diferencias entre el riego cada cinco y cada diez-quince días, resultaron muy significativas.

EL RÉGIMEN DE RIEGO Y LAS ENFERMEDADES FISIOLÓGICAS DEL TOMATE

Las enfermedades fisiológicas del tomate que más directamente se relacionan con los efectos del riego pueden clasificarse en tres grupos:

1. Maduración irregular o manchada*.
2. Fruto «hueco» —tomate zocate— o simplemente, fruto deformado.
3. Podredumbre apical** y grietas de crecimiento. Bajo iguales condiciones, el grado de incidencia de estas enfermedades dependerá siempre del factor variedad (114).

Sin salinidad

Cooper (16) hace una revisión de la «maduración manchada», señalando que este término ha sido utilizado en la literatura científica con sentidos muy distintos, por lo que existe en ella cierta confusión; pero hay unanimidad en admitir que aunque todas las variedades son sensibles a la misma, unas lo son más que otras.

* «Blotchy ripening» ** «Blossom-end rot», en inglés.

Aunque Ells (26) señala que los intentos de inducir la «maduración manchada», mediante la manipulación de las relaciones de humedad, fueron ineficaces, Proctor (65) y Cooper (16) asocian un aumento del manchado del fruto a una baja tensión de humedad del suelo. Stanton (86) también asocia mayor «cloud»* en el fruto, a un nivel mayor de riego, especialmente cuando era bajo el nivel de (N + K).

Woods (114) indica que, sin sombreado, la tensión de humedad no tenía ningún efecto sobre la incidencia del manchado. Cuando se aplicó sombra, un aumento en la tensión de humedad del suelo, ya redujo la incidencia del manchado total, del «dorso verde» y de las manchas amarilla y verde. Sugiere que fue a través de su efecto sobre el tamaño como la tensión de humedad influyó en los desórdenes de maduración. Tensiones de humedad más elevadas —riego menos frecuente—, daban menos manchado, mientras que con baja tensión de humedad éste aumentaba.

Se admite (21) que la «podredumbre apical» suele tener lugar cuando con frutos en una fase inicial de desarrollo se produce un largo período de sequía. A veces, también se presenta esta enfermedad después de períodos de lluvia abundante, la cual al provocar la destrucción de las raíces hace que el fruto no reciba suficiente humedad.

Duranti (24), estudiando el efecto de 3 regímenes de riego, encuentra una mayor incidencia de la «podredumbre apical» bajo el régimen más seco, y Waister y Hudson (101), indican que el régimen «seco» dio 4,9 veces mayor incidencia de podredumbre apical que el «húmedo». Señalan que puede evitarse ésta mediante el riego adecuado, sin ajustar el nivel de calcio en el suelo.

La falta de calcio se pensó por Spurr (84) ser una causa más directa de la «podredumbre apical» que la falta de agua. Spurr encuentra que la mayor incidencia de este desorden tiene lugar, aparentemente, después de períodos de temperaturas elevadas, los cuales también pueden posiblemente ser los de mayores déficits de agua en las plantas (84). Recientemente la «podredumbre apical» también se presenta como una carencia de calcio, producida por la falta de agua (45). Por todo ello, en tales casos, se recomienda el uso de fertilizantes que contengan calcio (21).

Para Winsor (105) la aparición de fruto «hueco» debe relacionarse con el exceso de riego o con la nutrición inadecuada. Al respecto señala Allerton (2) que un crecimiento excesivamente rápido predispone hacia el fruto «hueco». Recomienda evitar fluctuaciones en el suministro de agua y controlar bien el crecimiento con SO_4K_2 . Roorda van Eysinga (69) también da como causa primaria del fruto «hueco» el crecimiento demasiado vigoroso, que dice tratan de controlar con sales potásicas.

Las hendiduras de crecimiento también tienen lugar, principalmente, cuando habiéndose alcanzado la fase de maduración durante un período de tiempo seco, siguen a éste lluvias fuertes y temperatura elevada que favorecen un crecimiento excesivamente rápido de los frutos (21).

El porcentaje de frutos presentando «grietas de crecimiento» resulta menor bajo los regímenes «húmedo» y «muy húmedo» (54).

* El término «cloud» es usado en Nueva Zelanda para describir una forma de manchado del fruto.

Guttormsen, en 1974 (33), en invernadero, al estudiar el efecto de diversos «factores de riego»* y volúmenes de turba, encuentra que la principal tendencia fue una correlación positiva entre el rendimiento total y el número de frutos con «maduración irregular». El número de frutos de forma imperfecta fue positivamente correlacionado con el número de frutos «huecos» y con el peso de los frutos. Hubo una correlación positiva entre el peso de los frutos y el fruto «hueco». Y correlaciones negativas entre el número de frutos perfectos y la producción total, y entre el de frutos perfectos y su peso.

Con salinidad

Cuando para el riego se usan aguas salinas o si usando aguas no salinas existe cierto nivel de salinidad en el suelo, por efecto osmótico disminuye la entrada de agua en la planta y se producen las enfermedades fisiológicas propias de los regímenes «secos». Así, a medida que aumenta la salinidad del agua de riego crece la tendencia hacia la aparición de «podredumbre apical» y disminuye el riesgo de fruto «hueco». Cuando regando con agua no salina se eleva mucho el nivel de fertilización potásica o potásico-magnésica con notable elevación del nivel salino del suelo, se produce una importante disminución de la maduración irregular o manchada (107) (111) (112) (16) (15) (14) y en el porcentaje de fruto «hueco» (105) (107); pero un aumento muy notable de la «podredumbre apical» (14) (12) (15).

Y si a las parcelas con elevado nivel de K-Mg se les añade yeso, disminuye mucho la podredumbre apical, lo que apoya la hipótesis de que tal desorden se debe a la falta de Ca (15).

A medida que por efecto de un aumento del nivel de nutrientes en general, disminuye el pC del suelo, se produce un descenso en el porcentaje de frutos con maduración irregular (12) (23).

Orihuel (64), al comparar sobre la variedad Exhibition tres regímenes de riego con agua salina, encuentra que las diferencias en % de fruto deformado, entre el régimen «húmedo» —riego cada cinco días— y los regímenes «normal» y «seco» —cada diez, quince días—, resultaron muy significativas. Señala que la deformación del fruto, es la fase inicial de la aparición del tomate «hueco». En relación con la aparición de «grietas de crecimiento» indica que, sobre la variedad Moss, el mayor % correspondió al régimen «húmedo», siendo significativas las diferencias respecto del «seco».

Si en cultivo al aire libre, regando con aguas salinas durante todo el período, al iniciarse la recolección sobrevienen lluvias fuertes, es natural que al aumentar el vigor y el tamaño se produzcan abundantes «hendiduras de crecimiento».

* El término «factor de riego» corresponde a los mm. de agua añadida por cada mm. de agua evaporada. Compara los siguientes: 1, 1,5, 2, 3 y 4,5.

RESUMEN

Se hace una revisión de la literatura científica sobre los efectos del riego en el cultivo del tomate. Se establece la analogía entre los efectos debidos a los regimenes secos, con aguas no salinas, y los ocasionados por la salinidad del suelo o del agua.

*Departamento de Fertilidad de Suelos y Nutrición Vegetal.
Instituto de Edafología y Biología Vegetal.*

BIBLIOGRAFÍA

- (1) ALJBURY, F. K. and DONALD MAY, AUGUST. (1970). Irrigation schedules and production of processed tomatoes on the San Joaquin Westside. California Agriculture, 10-11.
- (2) ALLERTON, F. W. (1959). Tomato Growing, Latimer Trend & Co. Ltd. Plymouth, Great Britain.
- (3) ANNICCHIARICO PETRUZZELLI SEBASTIANI, L. (1967). The effect of different soil moisture levels on the growth of tomato plants in a semi-controlled environment. Citado en Horticultural Abstracts, 3522.
- (4) AYERS, A. D., WADLEIGH, C. H., and MAGISTAD, O. C. (1943). The interrelationships of salt concentration and soil moisture content with the growth of beans. J. Amer. Soc. Agron., 35, 796. Tomado de (77).
- (5) BACHER, . . . (1940). Citado en Salter, P. J. y Goode, J. E. (78).
- (6) BERNSTEIN, L. (1964). Salt tolerance of plants. Inf. Bull. U. S. Dep. Agr., núm. 293, 23.
- (7) BEWLEY, W. F. (1928). Rep. Exp. Res. Sta. Cheshumt for 1927, 15, Tomado de (78).
- (8) BEWLEY, W. F. (1950). Commercial glasshouse crops. London Country Life. Tomado de (78).
- (9) BIERHUIZEN, J. F. (1969). Water quality and yield depression. Institute for Land and Water Management Research. 12 blz Technical Bulletin. Wageningen, Netherlands.
- (10) BIERHUIZEN, J. F., and DE VOS, N. M. (1959). The effect of soil moisture on the growth and yield of vegetable crops. Inst Land Water Man. Res. Tech. Bull., 11, 1-10.
- (11) BUTTERS, R. E. (1956). Feeding for quality raises tomato returns. Grower, 46, 20, 1175. Tomado de (115).
- (12) BUTTERS, R. E. (1960). The pC value of soils and its effect on the tomato crop. J. Sci. Food Agric., 11, 202-212.
- (13) CANNELL, G. H., BINGHAM, F. T., and ASBELL, C. W. (1965). Effects of irrigation and phosphorus on production of field tomatoes. Agron. J., 57, 176-9. Citado en Horticultural Abstracts, 3107.
- (14) CLAY, D. W. T. and DAVISON, J. G. (1957). Effects of soil salinity on glasshouse crops. A. R. Nott. Univ. Sch. Agric. (1958), 39-42.
- (15) CLAY, D. W. T. and HUDSON, J. P. (1960). Effects of high levels of potassium and magnesium sulphates on tomatoes. J. Hort. Sci., 35, 2, 85-97.
- (16) COOPER, A. J. (1956). Blotchy ripening and allied disorders of the tomato: a critical review of the literature. Annual Report. G. C. R. I., 1956.
- (17) COOPER, A. J., HURD, R. G. and GISBORNE, J. H. (1965). Some effects of watering on glasshouse tomatoes. Ann. Rep. Glasshouse Crops Res. Inst., 1965, 145-152.
- (18) CORDNER, H. B. (1942). The influence of irrigation water on the yield and quality of sweet corn and tomatoes with special reference to the time and number of applications. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci., 40, 475-481. Citado en (78).
- (19) DASTANE, N. G., KULKARNI, G. N., and CHERIAN, E. C. (1963). Effects of different moisture regimes and nitrogen levels on quality of tomato. Indian J. Agron., 8, 405-8. Citado en Horticultural Abstracts, 5014.

- (20) DAVIES, J. N. (1964). Effect of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers on the non-volatile organic acids of tomato fruit. *J. Sci. Food Agric.*, 15, 665-673.
- (21) DEPARTMENT OF AGRICULTURE U. S. (1948). *Tomato Diseases*. Farmer's Bulletin núm. 1.934. Washington D. C.
- (22) DEPARTMENT OF AGRICULTURE. (1953). *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. Agriculture Handbook núm. 60, United States.
- (23) DOREY, REUBEN. (1960). *Tomato growing by prescription*. Printed in Great Britain by R. Clay and Company Ltd. Bungay Suffolk.
- (24) DURANTI, A. (1967). Relationships between varietal factors, water supply and physiological blossom end rot of tomatoes. *Ann. Fac. Sci. agrar. Napoli*, 2, 1-19. Citado en *Horticultural Abstracts*, 8590.
- (25) ELMSTROM, G. W., and HILLYER, I. G. (1965). Internal moisture stress in tomato measured by relative turgidity and soluble solids in leaves. *Proc. Amer. Soc. hort. Sci.*, 86, 569-74. Citado en *Horticultural Abstracts*, 1222.
- (26) ELLS, J. E. (1961). *Diss. Abstr.*, 22 (6), 1.781. Tomado de (115).
- (27) ENDE, J. VAN DEN. (1952). De invloed von zout gietwater op de ont wikkeling van verschillende gewassen onder glas. *Meded. Dir. Tuinbouw* 15, 884-903 (1952). Tomado de (81).
- (28) ERICKSON, A. E. (1965). Deficiencias de oxígeno a corto plazo y respuestas de la planta. En *Amer. Soc. Agr. Eng. Conference on Drainage for Efficient Crop Production*, 11-12, 23. Tomado de (50).
- (29) FRIIS-NIELSEN, B. (1970). Soil Moisture Regimes in Relation to Plant Nutrition. Growth and Fruit Development. *Arsskr. Kgl. Vet. Landbohøjsk.*, 41-61.
- (30) GALVIN, J. (1965). Influence of soil moisture regimes and peat mulch on tomato growth in a glasshouse. *Irish J. Agric. Res.*, 4, 19-24.
- (31) GORNAT, B. and others. (1973). The physiological effect of water quality and method of application on tomato, cucumber, and pepper. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 98 (2), 202-205.
- (32) GUTTORMSEN, G. (1973). Results of irrigation trials with glasshouse vegetables. II. The effects of water content and peat volume on yield and quality of tomato. 63 (47), 841-843.
- (33) GUTTORMSEN, G. (1974). Effects of root medium and watering on transpiration, growth and development of glasshouse crops. III. The effect of watering-factor and volume of root medium on yield and quality of greenhouse tomatoes. *Plant and Soil*, 40, 479-492.
- (34) HELLER, V. G., HAGEMAN, R. H. and HARTMAN, E. L. (1940). The use of saline and alkali waters in greenhouses. *Proc. Oklahoma Acad. Sci.* Vol. 20, 59-62.
- (35) HENDRICKSON, A. H. and VEIHMEYER, F. J. (1929a). Some factors concerning soil moisture of interest to horticulturists. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 26, 105. Tomado de (77).
- (36) HENDRICKSON, A. H. and VEIHMEYER, F. J. (1941a). Moisture distribution in soil in containers. *Plant Physiol.*, 16, 821. Tomado de (77).
- (37) HERNANDO, V. y CADAHIA, C. (1973). El análisis de savia como índice de fertilización. Estudio comparativo con el análisis foliar. Madrid. Instituto de Edafología y Biología Vegetal. «Manuales de Ciencia actual».
- (38) HERNANDO, V. y ORIHUEL, B. (1961). Campaña exportadora 1960-61, Alicante. Efecto del N-P-K. sobre rendimiento, calidad del fruto y desarrollo de las tomateras. Experimento no publicado.
- (39) HOLMES, J. W. (1956). Calibration and field use of the neutron-scattering method of measuring soil water content. *Austr. J. Appl. Sci.*, 7, 45-48.
- (40) HUDSON, J. P. (1963). Water Requirements of the Tomato Crop. *Rep. 16th int. hort. Cong.*, 1962, 2, 252-8.
- (41) HUDSON, J. P. and SALTER, P. J. (1953). Effects of Different Water-regimes on the Growth of Tomatoes under Glass. *Nature, Lond.*, 171, 480.
- (42) HUDSON, J. P., SALTER, P. J. and MAJUMDAR, A. M. (1957). Water Regimes in Irrigation Research. *Rep. 14th int. honrt. Congr. Scheveningen, 1955*, 1, 497.
- (43) HUGUET, C. (1961). Experiments to assess the water requirements of market-garden crops in a Mediterranean climate. *Ann. Agron.*, 12, 99-107. Tomado de (H. A. 3145).
- (44) HUNTER, A. S., KELLY, W. C., and SOMERS, G. F. (1950). Effects of variations in soil moisture tension upon the ascorbic acid and carotene content of turnip greens. *Agron. J.*, 42, 96. Tomado de (77).

- (45) INSTITUT NATIONAL DE VULGARISATION POUR LES FRUITS, LÉGUMES ET CHAMPIGNONS. (Novembre 1974). La Tomate. 22, rue Bergère, Paris-9^e.
- (46) JANICK, JULES. (1965). Horticultura científica e industrial. Editorial Acribia, Zaragoza (España).
- (47) KENWORTHY, A. L. (1949). Soil moisture and growth of apple trees. Proc. Amer. Soc. hort. Sci., 54, 29. Tomado de (77).
- (48) KIDSON, E. B. (1958). Ann. Rep. Cawthron Inst. 1957-58. 45. Tomado de (114).
- (49) KIDSON, E. B., WATSON, J. and HODGSON, L. (1953). Nutrient uptake by glass-house tomato plants. N. Z. J. Sci. Tech. A 35-127. Tomado de (76).
- (50) KRAMER, P. J. (1969). Relaciones Hídricas de Suelos y Plantas. Edutex, S. A., Av. Colonia del Valle, 434, México 12, D. F.
- (51) LACHMAN, W. H. (1948). Some effects of blossom removal on vegetative development and defoliation in determinate tomato plants. Proc. Amer. Soc. hort. Sci., 51, 341. Tomado de (76).
- (52) LAMBETH, V. N. (1956). Studies in moisture relationships and irrigation of vegetables. Mo. Agr. Exp. Sta. Res. Bul., 605.
- (53) LEE VALLEY EXPERIMENTAL HORTICULTURE STATION. (1958-59). Fruit ripening disorders and environment. Interim, first year report. Report 1958-59, 9-14, Hoddesdon (Inglaterra).
- (54) LEE VALLEY EXPERIMENTAL HORTICULTURE STATION. (1960). Automatic control of watering. Report. 1960-61, 40-42, Hoddesdon (Inglaterra).
- (55) LEE VALLEY EXPERIMENTAL HORTICULTURE STATION. (1960). Fruit ripening disorders and environment study. Report 1960-61, 28-32, Hoddesdon (Inglaterra).
- (56) LINGLE, . . (1960). Citado en Salter, P. J. y Goode, J. E. (78).
- (57) LINGLE, . . (1965). Citado en Salter, P. J. y Goode, J. E. (78).
- (58) LONG, J. F., and FRENCH, K. B. (1967). Measurement of soil moisture in the field by neutron moderation. J. Soil Sci., 18, 149-166.
- (59) MALCOLM, J. L. and HARKNESS, R. W. (1958). Irrigation experiments with tomatoes on a Rockdale soil. Proc. Fla. St. Hort. Soc., 70, 126-133.
- (60) MOHR, W. P. and HEENEY, H. B. (1959, 1960). Tomato irrigation study. Rep. Canad. Cttee Fruit Veg. Pres., 25. Citado en Horticultural Abstracts 2573.
- (61) MOLENAAR, A., and VICENT, C. L. (1951). Proc. Amer. Soc. Hort. Sci., 57, 259.
- (62) MOORE, J. N., KATTAN, A. A. and FLEMING, J. W. (1957). Effects of supplemental irrigation, spacing and fertility on yield and quality of processing tomatoes. Proc. Amer. Soc. for Hort. Sci. Vol. 71, 356-368.
- (63) MURNEEK, A. E. (1924). The effects of fruit on vegetative growth in plants. Proc. Amer. Soc. hort. Sci., 21, 274. Tomado de (76).
- (64) ORIHUEL, B. (1965). Campaña exportadora 1964-65 (Alicante). Efecto de tres frecuencias de riego sobre rendimiento, vigor, tamaño y calidad del tomate. Experimento no publicado.
- (65) PROCTOR, C. H. (1958). New Zealand Comm. Grow., 13, 9, 3. Tomado de (115).
- (66) REY, Y. et COSTES, C. (1965). La physiologie de la tomate. Étude bibliographique. C. N. R. A. Station Centrale de Physiologie Végétale, Versailles.
- (67) RICHARDS, L. A. (1949b). Methods of measuring soil moisture tension. Soil Sci., 68, 95-112.
- (68) RICHARDS, L. A. and WADLEIGH, C. H. (1952). Soil Physical Conditions and Plant Grow.
- (69) ROORDA VAN EYSINGA, J. P. N. L. (1966). Mineral fertilization, yield and quality of vegetables. Tomado de: Potassium Symposium 1966. 217-233. Editors Herausgeber, International Potash Institute, Berne (Switzerland).
- (70) RUSSELL, JOHN E. y RUSSELL, WALTER, E. (1959). Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas. Editorial Aguilar, 662.
- (71) SALISBURY, E. J. (1937). The plant and its water supply, J. R. Hort. Soc., 62, 425. Tomado de (70).
- (72) SALTER, F. J. (1953). Grower, 40, 829. Tomado de (115).
- (73) SALTER, P. J. (1954a). The effects of different water-regimes on the growth of plants under glass. I. Experiments with tomatoes (*Lycopersicum esculentum* Mill.). J. Hort. Sci., 29, 258.
- (74) SALTER, P. J. (1954b). Watering tomatoes under glass. Univ. Nottingham Dep. Hort. Res. Rep. for 1954, 13.
- (75) SALTER, P. J. (1957). The effects of different water-regimes on the growth of plants under glass. III. Further experiments with tomatoes (*Lycopersicum esculentum* Mill.). J. Hort. Sci., 32, 214. Tomado de (115).

- (76) SALTER, P. J. (1958). The effects of different water-regimes on the growth of plants under glass. IV. Vegetative growth and fruit development in the tomato. *J. Hort. Sci.*, **33**, 1-12.
- (77) SALTER, P. J. *Plant Climate and Irrigation*. Cap. VI. The effects of different water regimes on the growth and yield of tomatoes.
- (78) SALTER, P. J., and GOODE, J. E. (1967). Crop responses to water at different stages of growth. *Res. Rev. núm. 2*, 61-63. Commonwealth Bureau of Horticulture and Plantation Crops, East Malling, Kent.
- (79) SAKIYAMA, R. (1968). Effect of irrigation temperature and shading on the acidity of tomato fruits. *J. Jap. Soc. Hort. Sci.*, **37**, 67-72. Citado en *Horticultural Abstracts*, 1048.
- (80) SCHLEUSENER, P. E., PEIKERT, F. W., and CAROLUS, R. L. (1949). Results of irrigation on vegetable crops Quart. *Bull. Mich. Agr. Exp. Sta.*, **31**, 343.
- (81) SHALHEVET, J. and YARON, B. (1973). Effect of soil and water salinity on tomato-growth. *Plant and Soil*, **39**, 285-292.
- (82) SINGH, S. N. and JOON, B. S. (1950). Root development and yield of *Lycopersicon esculentum* Mill. var. Best. of All in relation to varying moisture supply.. *Curr. Sci.*, **19**, 182. Tomado de (77).
- (83) SKAPSKI, H., VISCARDI, K., and JAGODA, J. (1967-1968, 1969). The effect of irrigation and mineral and organic fertilization on the yield of bush tomatoes. *Biul. warzyw.*, **9**, 121-36. Citado en *Horticultural Abstracts*, 6503.
- (84) SPURR, A. R. (1959). Anatomical aspects of blossom end rot in the tomato with special reference to calcium nutrition. *Hilgardia*, **28**, 269-95.
- (85) STANHILL, G. (1958). An Irrigation Gauge for Commercial Use in Field and Glasshouse Practice. *J. Agric. Eng. Res.*, **3**, 292-8.
- (86) STANTON, D. J. (1958). Some factors regulating yield, quantity and physiological disorders of tomatoes. *A. R. Cowthron Inst.*, 47-49, 1957-58.
- (87) STEWART, G. L. and TAYLOR, S. A. (1957). Field experience with neutron scattering method of measuring soil moisture. *Soil Sci.*, **83**, 151-158.
- (88) TAKAHASHI, K. (1960). Studies on the composts for raising vegetable seedlings in hot beds. II. The effect of soil moisture on the growth of tomato seedlings. *J. hort. Ass. Japan*, **29**, 313-22. Citado en *Horticultural Abstracts*, 6448.
- (89) TAYLOR, S. A. (1952b). Use of mean soil moisture tension to evaluate the effect of soil moisture on crop yields. *Soil Sci.*, **74**, 217. Tomado de (77).
- (90) THORUP, R. M. (1969). Root development and phosphorus uptake by tomato-plants under controlled soil moisture conditions. *Agron. J.*, **61**, 808-11. Citado en *Horticultural Abstracts*, 4074.
- (91) TILL, M. R. (1969). An irrigation and spacing trial on tomatoes. *Exp. Rec. S. Aust. Núm. 3*, 32-42. Citado en *Horticultural Abstracts*, 1319.
- (92) TOOWEX, F. W. y otros. (1965). *Producción Comercial de Tomates*. Glasshouse-Croup del N. A. A. S. Editorial Acribia. Zaragoza (España).
- (93) UNESCO. (1957). *Utilisation des eaux salines*. Imprimé par l'Imprimerie Chaix, 20, rue Bergère, Paris-9^e.
- (94) VEIHMEYER, F. J. (1927). Some factors affecting the irrigation requirements of deciduous orchards. *Hilgardia*, **2**, 125. Tomado de (77).
- (95) VEIHMEYER, F. J. (1929). An improved soil sampling tube. *Soil Sci.*, **27**, 147. Tomado de (77).
- (96) VEIHMEYER, F. J. and HENDRICKSON, A. H. (1927). Condiciones de humedad del suelo en relación con el crecimiento de las plantas. *Plant Physiol.*, **2**, 71-82. Tomado de (50).
- (97) VEIHMEYER, F. J. and HENDRICKSON, A. H. (1949). Methods of measuring field capacity and permanent wilting percentage of soils. *Soil Sci.*, **68**, 75-94. Tomado de (77).
- (98) VITUM, M. T. and others. (1962). Raw-product quality of vineripened processed tomatoes influenced by irrigation, fertility level and variety. *Am. Soc. Hort. Sci. Proc. Dept. of Hort. Michigan State Univ.*
- (99) VITUM, M. T. and others. (1963). Crop responses to irrigation in the Northeast. *Bull. N. Y. St. agric. Exp. Stat. Geneva*, **800**, 66. Citado en *Horticultural Abstracts*, 5022.
- (100) WADLEIGH, C. H. and AYERS, A. D. (1945). Growth and biochemical composition of bean plants as conditioned by soil moisture tension and salt concentration.. *Plant Physiol.*, **20**, 106. Tomado de (77).

- (101) WAISTER, P. D. and HUDSON, J. P. (1970). Effects of soil moisture regimes on leaf water deficit, transpiration and yield of tomatoes. *J. Hort. Sci.*, 45, 359-370.
- (102) WALLIHAN, E. F. (1939). The use of tensiometers for soil moisture measurement in ecological research. *Ecology*, 20, 403. Tomado de (77).
- (103) WHITTLES, C. L. and SCHOFIELD-PALMER, E. K. (1951). On pC, pS, and pN as indicating functions of electrical soil conductivity. *J. Soil Sci.*, 2, 243-245.
- (104) WIGHT, J. R. and others. (1962). The effects of irrigation and nitrogen fertilization treatments on the yield, maturation, and quality of canning tomatoes. *Proc. Amer. Soc. hort. Sci.*, 81, 451-7. Citado en *Horticultural Abstracts*, 5269.
- (105) WINSOR, G. W. (1965). A note on the rapid assessment of «boxiness» in studies of tomato fruit quality. *Rep. Glasshouse Crops Res. Inst.* (1966), 124-127.
- (106) WINSOR, G. W. (1966). Some factors affecting the composition, flavour and firmness of tomatoes. *Scien. Hort.*, 28-35.
- (107) WINSOR, G. W. (1966). Potassium and the quality of glasshouse crops. Citado en: *Potassium Symposium 1966*, 303-312. Editors Herausgeber, International Potash Institute, Berne (Switzerland).
- (108) WINSOR, G. W., DAVIES, J. N. and LONG, M. I. E. (1967). The effects of nitrogen, phosphorus, potassium magnesium and lime in factorial combination on the yields of glasshouse tomatoes. *J. Hort. Sci.*, 42, 277-88.
- (109) WINSOR, G. W., DAVIES, J. N. and MESSING, J. H. L. (1957). Studies on potash/nitrogen ratio in nutrient solutions, using trickle irrigation equipment. *Rep. Glasshouse Crops Res. Inst.*, 91-98.
- (110) WINSOR, G. W., DAVIES, J. N., MESSING, J. H. L. and LONG, M. I. E. (1962). Liquid feeding of glasshouse tomatoes; the effects of nutrient concentration of fruit quality and yield. *J. Hort. Sci.*, 37, 44-57.
- (111) WINSOR, G. W. and LONG, M. I. E. (1962). $3^2 \times 2^3$ factorial nutritional trial with tomatoes. *Glasshouse Crops Research Institute, Annual Report*, 61-63.
- (112) WINSOR, G. W. and LONG, M. I. E. (1967). The effects of nitrogen, phosphorus, potassium, magnesium and lime in factorial combination on ripening disorders of glasshouse tomatoes. *J. Hort. Sci.*, 42, 391-402.
- (113) WINSOR, G. W. and LONG, M. I. E. (1968). The effects of nitrogen, phosphorus, potassium, magnesium and lime in factorial combination on size and shape of glasshouse tomatoes. *J. Hort. Sci.*, 43, 323-34.
- (114) WOODS, M. J. (1963). *Irish J. Agric. Res.*, 2, 2, 207. Citado en (115).
- (115) WOODS, M. J. (1966). The effects of some nutritional and environmental factors on fruit quality in tomatoes. Citado en: *Potassium Symposium 1966*, 313-323. Editors Herausgeber, International Potash Institute, Berne (Switzerland).
- (116) ZEHLER, E. et FORSTER, H. (1972). Potentiel de rendement des tomates en relation avec la nutrition potassique. *Revue de la Potasse, Section 8*, 1-6.

Recibido para publicación: 13-X-77

ANIVERSARIO DE D. JOSE M.^a ALBAREDA

El día 27 de marzo se cumplirán trece años del fallecimiento de D. José M.^a Albareda Herrera, que fuera cofundador del C. S. I. C. con Ibáñez Martín, Secretario General de este Organismo desde su fundación y primer Director del Instituto de Edafología, creado en el año 1942.

Albareda, como bien se ha dicho, ha significado una etapa muy importante de la Cultura española. Debe recordarse la profunda incidencia que la creación del Consejo Superior de Investigaciones Científicas ha tenido en nuestra Patria y el significado de esta Institución, por la que han pasado, desde 1939, personalidades del máximo relieve de las Letras y de las Ciencias, figurando en la misma como Consejeros, Dirigentes, Profesores, Investigadores, Asesores, Becarios o Pensionados, bien del Organismo central o bien de los Patronatos y de los Institutos estructurados a lo largo del extenso desarrollo habido desde aquella fecha. Un repaso de las memorias, premios nacionales y publicaciones del C. S. I. C. pone de manifiesto la extensión de la nómina de quienes han laborado o investigado a lo largo de estos años en esta Institución, que ha servido también para dotar a la investigación española de una estructura que, con muy pocos retoques, ha realizado una relevante tarea que no puede ser ignorada y debe proyectarse hacia el futuro.

Por eso, al conmemorar el aniversario de la muerte de Albareda habrán de subrayarse numerosas facetas de su poderosa personalidad, pero quizá en primer término, su capacidad organizadora, su facilidad para integrar gentes y núcleos de investigación, su ausencia de prejuicios sobre las personas, su inmensa ilusión en el avance de la Ciencia española y su confianza en la preparación y entrega de los investigadores de nuestro país.

Visión de futuro, aprovechamiento racional de los medios y de las personas, conocimiento profundo de los problemas y obstáculos de nuestra investigación y de los sectores económicos, capacidad de trabajo y de gestión, eran otras tantas peculiaridades de su perfil humano.

Otras características destacadas de Albareda, fueron el relieve y el significado de su propia labor de investigador de primera fila en diferentes áreas de la Edafología, su labor como docente en la que se reflejaba su preparación y conocimientos, su afán para ir estableciendo a lo largo de toda España Centros —no improvisados nunca sino con profunda justificación— que con una rigurosa base científica, pudieran contribuir al desarrollo de sus áreas propias, pero al mismo tiempo colaborar de modo real y concreto al progreso técnico, económico y social de las regiones.

En otro orden de cosas convendrá también recordar su enorme visión para establecer y fomentar las relaciones científicas internacionales, en cuya labor se ocupaba de modo muy personal. De esta forma pudo iniciarse una amplia política de estancias

de becarios y pensionados españoles en el extranjero y un fructífero intercambio de Profesores y Científicos cuya utilidad ha resultado evidente, abriéndose el camino para una normal participación de los investigadores españoles en Congresos, Reuniones, Sociedades Internacionales, y, más tarde, en planes y programas de carácter internacional, interdisciplinarios, etc., generalmente patrocinados por los organismos internacionales más caracterizados, como UNESCO, FAO, OMS, etc. Albareda supo captar con su actividad llena de múltiples facetas humanas y con su delicadeza, la amistad de amplios grupos de Profesores e Investigadores extranjeros que desde entonces se convirtieron en los más eficientes Hispanistas. Muchos de ellos realizaron más tarde una gran parte de su tarea profesional en nuestro país. Sería largo de referir el sinfín de relaciones, ahora fuertemente cimentadas, establecidas con Universidades e Instituciones científicas, que tuvieron su origen en la gestión personal de Albareda, que mostró en esta faceta su tenacidad y flexibilidad al mismo tiempo. Buen número de dichos investigadores extranjeros fueron luego Consejeros de Honor del CSIC y su vinculación a este Organismo ha constituido verdaderamente un alto honor para nuestra Patria.

Quizá interese poner de manifiesto, al efectuar un recordatorio sumario de la personalidad y labor de D. José M.^a, su capacidad también para establecer relaciones y efectuar planes de trabajo concertados con las Diputaciones, Cabildos y entidades provinciales o de la vida local, que permitieron desarrollar programas en los que el quehacer investigador se entroncaba y canalizaba en la resolución de problemas agrícolas, ganaderos e industriales de las regiones y de las comarcas. Sin duda podrían citarse aquí numerosos ejemplos sobre estas fructíferas colaboraciones, que todavía hoy tienen continuidad de una forma u otra.

De no menos trascendencia fue su preocupación, no superada, por el elemento humano del Consejo. A su formación y promoción dedicó su experiencia, su interés y su capacidad reflexiva, ejemplarizando constantemente con su modo de ser y con su conducta. En un hermoso libro recogió sus vivencias sobre la investigación, su visión de la misma, sus reflexiones, y, en suma, sus consejos a los jóvenes investigadores, que merecía ser difundido entre las personas que se incorporan al Consejo, entre sus propios investigadores y en los medios universitarios, pues su contenido no ha perdido actualidad.

Albareda no era un teorizante, pues vivía los problemas con realismo, penetrando en los detalles de la problemática de la investigación, sabiendo sus pormenores. Buscaba soluciones incansablemente para los problemas económicos y financieros donde creía poder hallarlos. Por eso, no debe extrañar que la idea tercamente mantenida sobre la profesionalización de los investigadores, la pudiera llevar a término felizmente. Los distintos cuerpos y escalas existentes en el seno del C. S. I. C. así lo proclaman.

En cuanto a los rasgos, virtudes y características que adornaban la personalidad de Albareda, son bien conocidos y complementaban muy bien su figura de español de una pieza; incansable, recio, tenaz, bondadoso, de trato agradable, comprensivo, de convicciones firmes pero respetuoso con las creencias ajenas, lo que le hacía ganarse la consideración y el aprecio de todos. Conocía muy bien todo el territorio nacional —pues le había recorrido palmo a palmo— sus pueblos, sus gentes, sus peculiaridades. En este conocimiento pocos compatriotas le habrán superado. De ahí que fuera un apasionado patriota, aunque en ningún país se consideraba extraño, pues también tenía una gran preocupación por conocer a fondo otras naciones y otros pueblos, que en sus numerosos viajes tuvo ocasión de tratar y entender.

JULIO RODRIGUEZ MARTINEZ (†)

El día 28 de enero fallecía en Santiago de Chile el Excmo. Sr. D. Julio Rodríguez Martínez, Consejero que fue del CSIC, en cuyo Organismo se había iniciado en las tareas investigadoras y donde había de transcurrir gran parte de su vida científica. El Prof. Rodríguez Martínez, recién salido de la Universidad granadina, pasó a la Estación Experimental del Zaidín de Granada, donde fue becario; nunca se desvinculó del Consejo, del que era Consejero de Número y actualmente pertenecía al Instituto de Edafología y Biología Vegetal de Madrid, donde ostentaba en el momento de su muerte la Jefatura de la Sección de Geoquímica y Génesis Mineral.

Julio Rodríguez tenía ahora cincuenta años de edad, era Doctor en Química y en Farmacia con premio extraordinario por la Universidad de Granada. Obtuvo el Premio Nacional Fin de Carrera en el año 1952 y alcanzó el Víctor de Plata por el mejor expediente académico. Becario del CSIC, continuó su labor formativa en Inglaterra pensionado por la Fundación March, en Rothamsted, y posteriormente, al lograr una Beca Ramsay, perfeccionó estudios en la Universidad de Cambridge. Más tarde fue Colaborador e Investigador científico del CSIC por oposición, pasando a la Universidad al obtener, por oposición también, la Cátedra de Cristalografía, Mineralogía y Mineralotecnia de la Universidad de Salamanca. Por la proyección de sus trabajos y actividades hacia las Universidades americanas fue nombrado Catedrático honorario de varias de ellas, entre las que cabe destacar las de San Marcos y Cuzco, de Perú. Fue premio Alonso de Herrera del CSIC. Decano de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Navarra, Catedrático de la Universidad Autónoma de Madrid, Rector de dicha Universidad, Académico de Farmacia, Ministro de Educación y Ciencia, son los hitos más destacados de su fulgurante carrera.

En este esquema, sólo esbozado, de su biografía científica y académica, se pone de manifiesto su trayectoria de riguroso intelectual, que alcanzó un altísimo nivel en el cultivo de su disciplina como lo demuestran sus numerosos y valiosos trabajos. Facetas destacadas de su personalidad fueron el rigor, la laboriosidad, el desinterés, su patriotismo, al propio tiempo que su sencillez y carácter afable, abierto a todos y propicio a cualquier colaboración.

Fallece en América, de rápida y cruel enfermedad, cuando cumplido el cometido científico de asistir a un Congreso de su especialidad que le había llevado a Chile con un grupo de Profesores españoles, se disponía a partir para Perú y rendir viaje en Méjico, donde iba a perfilar los últimos detalles del Curso que el próximo verano debía impartir para universitarios de aquel país hermano. Su amor a América, su profunda vocación por los temas americanos, le había llevado a consagrar con entusiasmo, entrega y dedicación gran parte de su vida a esta actividad, a la que concedía la prioridad que a un hispanista de su talla, sincero y desprendido, le impulsaba su poderosa vitalidad, en la que era correspondido por los científicos y profesores de aquellas Repúblicas, ganados por su ímpetu, quehacer e imaginación. Por eso no puede extrañarnos que hubiera sido distinguido con los más altos reconocimientos de las Universidades americanas, que sus proyectos y planes de investigación o docentes fueran aceptados incondicionalmente, que su entusiasmo por América fuera contagioso y que hubiera abierto para los Profesores españoles las puertas de la mayoría de aquellos países y de sus instituciones culturales y docentes. La creación de Cátedras, por su iniciativa en Universidades americanas, tales como las dedicadas a Albareda, García Lorca, Marañón, Lucena, etc., prueban el afecto con que sus ideas se recogieron allí.

Una de sus últimas actuaciones de cara a la hermandad de los científicos iberoamericanos de su especialidad ha sido la creación de la Revista Iberoamericana de Cristalografía, Mineralogía y Metalogenia, publicación para dar a conocer los trabajos correspondientes de esta comunidad de países hermanos, y de cuyo Consejo de Redacción forman parte prestigiosos Profesores de todos los países del área iberoamericana. Julio era el editor, junto con el Prof. García Blanco. La revista tiene la particularidad de que cada número será editado por un país de la Comunidad científica que se propone integrar. Ha sido uno de los últimos servicios que el Prof. Rodríguez Martínez ha rendido a estos países, que estamos seguros perdurará, aunque la idea no esté exenta de dificultades. A ella nos hemos referido ampliamente en un número anterior de Anales.

América y España han perdido un gran científico, un docente de primera categoría, y sobre todo, un caballero ejemplar, cuando por su juventud tanto podía esperarse de él.—G. B.

EL PRESIDENTE DEL CSIC VISITA EL INSTITUTO DE EDAFOLOGIA Y BIOLOGIA VEGETAL DE MADRID

El Presidente del CSIC, Prof. Sánchez del Río, acompañado por miembros de la Comisión Científica de dicho Organismo, ha visitado recientemente el Instituto de Edafología y Biología Vegetal de Madrid, celebrando una reunión informativa con el Claustro Científico del mismo.

La finalidad de esta reunión ha sido tratar diversas cuestiones relacionadas con la próxima reestructuración del Centro, exponer el criterio de la Presidencia y de la Comisión Científica sobre aspectos concretos inherentes a la estructura futura y conocer directamente las opiniones de los miembros del Claustro.

ASISTENCIA DEL PROF. HERNANDO A LA REUNION DEL C. I. E. C.

El Prof. Hernando ha asistido a la reunión del Comité Central del C. I. E. C. (Centre International des Engrais Chimiques) en su condición de Vicepresidente del mismo, que ha tenido lugar el día 27 de febrero en la ciudad de Viena.

La reunión se celebró en la sala de conferencias de Ö. D. B., Auenbruggergasse, 2, Viena, donde se encuentra ubicada la Organización de Asesoramiento a los agricultores para el empleo de fertilizantes.

Después de un informe del Presidente sobre aspectos generales, el Secretario general pasó a exponer la información que tenía de Bengasi con relación al Simposio Internacional que sobre Uso de Agua y Fertilizantes para la Producción de Alimentos en Zonas Áridas y Semiáridas va a tener lugar en dicha ciudad.

El número de comunicaciones presentadas hasta el momento era bastante alto, por lo que se acordó que al ser los Conferenciantes Generales de cada tema los Presidentes de las Sesiones, debían encargarse de la selección de los trabajos que dentro de cada campo se presentan al Simposio, por lo que el Secretario general deberá remitir a los distintos Conferenciantes generales (entre ellos el Dr. Hernando) nota de las distintas comunicaciones que vayan siendo propuestas para que se dé el visto bueno y su aceptación, con lo cual el Presidente de Mesa se hace responsable del nivel de las comunicaciones que se presenten en su Sección.

Se discutió la conveniencia de insistir cerca de los países del Oeste para que la representación fuera equilibrada, y no hubiera un predominio de los del Este.

Posteriormente se decidió que la cuota de inscripción se eleve a 150 Francos Suizos para los miembros del C. I. E. C. y 300 para los no miembros.

Se acordó igualmente que la próxima Asamblea General tenga lugar un día antes del Simposio en Bengasi, que se verificará del día 26 de noviembre al 1 de diciembre, es decir el 25 de noviembre.

Entre los temas a tratar en dicha Asamblea está el de la reelección o nueva propuesta de Presidente del C. I. E. C.

Debido a que por motivos particulares tuvo que abandonar la sesión el actual Presidente Prof. Jelenic, fue más fácil tratar este punto.

Después de una discusión bastante animada, se acordó proponer a los miembros de los distintos países la consideración de un Presidente austriaco con el fin de que entre el Secretario y el Presidente haya un mayor contacto, que hoy día está muy limitado, más aún, por el problema que para salir de Yugoslavia venía teniendo el Prof. Jelenic.

Posteriormente se trató del próximo Congreso Mundial de Fertilizantes que se quiere hacer coincidir con el 50 aniversario de la creación del C. I. E. C., es decir el año 1982. Se consideró una propuesta de F. A. O. que da toda clase de facilidades para la realización del Congreso en Roma. De todas maneras se pensó que era interesante aprovechar esta oportunidad para llevar el Congreso a otra parte del mundo, quizá posiblemente América.

Se acordó que a la próxima reunión del Comité Central, que puede tener lugar en octubre o noviembre, lleven los miembros propuestas de países que verían con interés el organizar el próximo Congreso Mundial de Fertilizantes, con la colaboración del C. I. E. C., por supuesto.

Posteriormente se pasó a discutir el problema económico de la Sociedad y sobre todo la publicación de «Fertilizer Review». Existe actualmente material para la publicación de dos números y se consideran distintas posibilidades al respecto, sin resolver nada, puesto que la decisión corresponde a la Asamblea General.

Se volvió a discutir la posibilidad de subir la cuota y por fin se decidió que los nuevos miembros paguen en dólares la misma cantidad que actualmente pagan los miembros antiguos en francos suizos.

Se circuló un documento sobre el Estatuto y composición de la Asamblea y cargos, que va a publicarse inmediatamente.

Posteriormente, a las ocho de la noche, se celebró una reunión con el Profesor Oberländer, del Ministerio de Agricultura de Austria, con el que se discutieron los detalles de su intervención en el Curso Internacional de Fertilidad de Suelos y Nutrición Vegetal, del que forma parte como Profesor extranjero.

La próxima reunión del Comité podría ser en el próximo otoño, aunque lo más probable es que sea en el mes de octubre.

INAUGURACION DEL VII CURSO INTERNACIONAL DE FERTILIDAD DE SUELOS Y NUTRICION VEGETAL

El acto de apertura del VII Curso Internacional de Fertilidad de Suelos y Nutrición Vegetal organizado por el Consejo Superior de Investigaciones Científicas, en colaboración con la Universidad Politécnica de Madrid y la Universidad Complutense de Madrid, tendrá lugar el lunes día 5 de marzo a las 18,30 en el Salón de

Actos de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de la Universidad Politécnica de Madrid. La lección inaugural estará a cargo del Profesor D. Carlos Roquero de Laburu, Catedrático de Edafología de la Escuela Superior de Ingenieros Agrónomos de la Universidad Politécnica de Madrid. La conferencia versará sobre *Factores condicionantes de la Fertilización en Suelos Tropicales y Ecuatoriales*.

III REUNION DEL GRUPO DE HUMUS

Esta Reunión tendrá lugar del 26 al 28 de junio, organizada por el Grupo de Humus, de acuerdo con el programa definitivo siguiente:

Día 26

- 9-10 Recepción de participantes.
- 10-10,30 Apertura de la Reunión.
- 10,30-12,00 *Condiciones ecológicas de la formación de humus en Galicia*. Presenta y actúa de moderador: F. Guitián Ojea.
- 12,15-14,00 *Progresos recientes en la estructura molecular del humus*. Presenta y actúa de moderador: J. Méndez Sánchez.
- 16,00-18,00 *Complejos órgano-metalúcos*. Presenta y actúa de moderador: T. Carballas F.
- 18,00- *Proyecto de reglamento*. Presenta y actúa de moderador: J. Gallardo Lancho.

Día 27

- 9-19,00 Excursión a la Sierra del Barbanza (secuencia de suelos sobre granito: suelos humíferos atlánticos).

Día 28

- 9-10,30 *Aprovechamiento de las aguas residuales como fertilizantes orgánicos*. Presenta y actúa como moderador: F. Gallardo Lara.
- 10,30-12,45 Presentación de los trabajos de investigación en realización por los miembros del Grupo, individualmente o por equipos. Moderador: F. Costa Yagüe.
- 13,00-14,00 Resultado y encuesta sobre medios. Presenta y actúa de moderador: J. Gallardo Lancho.
- 16,00-18,00 Presentación de posibles temas de investigación cara al futuro y de proyectos de investigación conjunta, teniendo en cuenta los medios de que se dispone. Moderador: E. Dorado Bernal.
- 18,00- Análisis de las Reuniones celebradas y conclusiones. Moderador: F. Velasco de Pedro.
Clausura de la Reunión.

14º COLOQUIO DEL INSTITUTO INTERNACIONAL DE LA POTASA
SEVILLA, 21-25 DE MAYO DE 1979

El citado Coloquio del Instituto Internacional de la Potasa se desarrollará según el siguiente programa:

Discurso de apertura: Presidente del Coloquio, Quintanilla (E).

Introducción: Potencial de producción agrícola en los países mediterráneos como función de: a) Los suelos, Roquero (E); b) La bioclimatología, Damagnez (F).

1.ª Sesión

Limitaciones climatológicas en la utilización del suelo

Ponencia

Métodos modernos para el estudio de la conservación del agua. Vachaud (F).

Comunicaciones

a) *Absorción de agua y elementos nutritivos según el perfil del suelo.* Renger-Strebel (D).

b) *Contenido en sales de la solución del suelo en la rizosfera bajo riego controlado.* Schleiff (D).

c) *Efecto de la fertilización sobre la eficiencia en el uso del agua.* Van Keulen (NI).

d) *Consecuencias agrícolas de la existencia en el suelo de costras calizas.* Rhanem (MA).

2.ª Sesión

Comportamiento de los elementos nutritivos en suelos bajo clima semiárido

Ponencia

Relaciones iónicas en suelos bajo climas semiáridos. Laudelout (B).

Comunicaciones

a) *Relaciones entre los minerales arcillosos y la disponibilidad de elementos nutritivos.* Ristori (I).

b) *Comportamiento del nitrógeno en algunos suelos arenosos de la región del Sous en Marruecos.* Stitou (MA).

c) *Disponibilidad de potasa en los suelos calizos.* Díez (E).

d) *Problemas de las carencias de potasio en suelos calcáreos.* Marcou (CY).

e) *Yeso y otros materiales usados para la recuperación de suelos salinos.* Abdam El Salam (ET).

3.ª Sesión

*Estimación de la disponibilidad de elementos nutritivos**Ponencia*

Estimación de la disponibilidad de elementos nutritivos. Kafkafi (IL).

Comunicaciones

- a) *Determinación de la fertilidad fosfopotásica e interpretación de los resultados obtenidos bajo condiciones mediterráneas. Papy (MA), Agbani (MA), Quemener (F).*
- b) *Análisis del suelo, análisis foliar y abonado en cítricos. Hernando (E).*
- c) *Análisis del suelo y foliar en olivares y otros cultivos importantes. Yassoglou; Gavalas (GR).*
- d) *Influencia del portainjerto sobre la nutrición mineral de la viña: consecuencias sobre la fertilización. Delas (F).*

4.ª Sesión

*Obtención del rendimiento potencial en zonas áridas**Ponencia*

Optimización de los rendimientos y del uso del agua en la agricultura mediterránea. Arnon (IL).

Comunicaciones

- a) *Rendimientos y necesidades en elementos nutritivos del maíz híbrido en Italia. Cervato (I).*
- b) *Rendimientos y necesidades en abonos del algodón en Israel. Halevi (IL).*
- c) *Factores que ejercen una influencia en las necesidades en elementos nutritivos del girasol híbrido en Rumanía. Hera (RU).*
- d) *Rendimientos y necesidades en elementos nutritivos de la remolacha azucarera en Italia. Venturi (I).*
- e) *Influencias de las técnicas culturales modernas en la producción de tomates en el Sur de Francia. Brun (F).*

Introducción a la excursión: Recuperación de suelos salinos en las marismas del Guadalquivir. Grande Covián (E).

COLABORADORES CIENTIFICOS DEL INSTITUTO
DE EDAFOLOGIA Y BIOLOGIA VEGETAL

Tras el correspondiente Concurso oposición, han sido promovidos a Colaboradores Científicos del CSIC, adscritos al mencionado Instituto, los siguientes miembros del

Asimismo: D. Luis Alcalá del Olmo Bobadilla, D. Jesús Pastor Piñeiro y D. José Casas Sainz de Aja.

Los nombramientos de los nuevos Colaboradores Científicos han aparecido ya en el «B. O. del Estado», habiendo los mismos tomado posesión de sus cargos en fecha reciente.

CONVOCATORIA DE AYUDAS A LA INVESTIGACION

La Fundación Vicente de Mendieta y Lambarri, de Delica-Arrastaria (Alava), ha efectuado la Convocatoria de Ayudas a la Investigación para el año 1979, que se regirá por las siguientes Bases:

1. *Dotación de las Ayudas*

La convocatoria comprende cuatro Ayudas a la Investigación, dotadas con 500.000 pesetas cada una, que serán atribuidas a quienes se comprometan a realizar un trabajo de investigación científica dentro de unos temas específicos que más adelante se señalan.

2. *Temas objeto de las Ayudas*

- 2.1. Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas.
- 2.2. Estudios Técnicos Superiores: Tecnología.
- 2.3. Energía Nuclear sobre Usos Pacíficos.
- 2.4. Agricultura y Zootecnia.

3. *Documentación a presentar por los candidatos*

Los candidatos remitirán a la Fundación los documentos que a continuación se indican:

3.1. Instancia-solicitud en la que deberá constar el nombre, apellidos, nacionalidad y domicilio del candidato. En el caso de que se proyecte realizar el trabajo en equipo, deberán también ser consignados los datos de sus colaboradores. Asimismo se especificará claramente el tema en el que se desea desarrollar el trabajo.

El impreso de instancia-solicitud será facilitado por la Fundación a todos aquellos que lo deseen.

3.2. Memoria relativa a la investigación propuesta, especificando con precisión las concreciones que se estimen necesarias dentro del tema elegido, el plan de actuación, los medios con que se cuenta y los que juzgue precisos para la realización del trabajo. A dicha Memoria se adjuntará un resumen de la misma de, aproximadamente, 300 palabras.

3.3. «Curriculum vitae» del candidato y, en su caso, de los miembros del equipo, con indicación de los respectivos títulos y méritos, y de las obras y trabajos publicados o inéditos.

3.4. Se acompañarán cuatro fotografías recientes del candidato, con su nombre escrito al dorso.

3.5. La fundación no quedará obligada a la devolución de los referidos documentos.

4. *Plazo de presentación*

La documentación deberá presentarse en las oficinas de la Fundación sitas en la Escuela Superior de Ingenieros Industriales (Alda, Urquijo, s/n. Bilbao-13), o remitirse por correo a la dirección mencionada, antes del 30 de abril de 1979.

5. *Jurado*

El Jurado estará constituido por un presidente, miembro de la Junta de Patronato de la Fundación, y cuatro vocales designados entre destacadas personalidades en los diferentes temas.

6. *Decisión del Jurado*

6.1. El Jurado emitirá su fallo antes del 31 de julio de 1979.

6.2. Los candidatos, por el solo hecho de solicitar las Ayudas, renuncian a toda clase de acción judicial o extrajudicial contra el fallo del Jurado.

7. *Indivisibilidad de las Ayudas*

7.1. Las Ayudas son indivisibles y se concederán individualmente a personas físicas.

7.2. Cuando concurra un equipo de investigación, será titular de la Ayuda, a todos los efectos, el que, como tal, figure en la instancia-solicitud. Las bajas u otras modificaciones que se produzcan en el equipo deben comunicarse en la Fundación.

8. *Entrega de las Ayudas*

Las cantidades correspondientes se percibirán de la siguiente forma:

8.1. Julio 1979, 100.000 pesetas.

8.2. Enero 1980, 100.000 pesetas, contra presentación de un primer informe sobre el trabajo desarrollado.

8.3. Julio 1980, 100.000 pesetas, contra presentación de un segundo informe sobre el trabajo desarrollado.

8.4. Enero 1981, 100.000 pesetas, contra presentación de un tercer informe sobre el trabajo desarrollado.

8.5. Julio 1981, 100.000 pesetas, que serán entregadas en sesión pública celebrada en el Aula Magna de la Escuela Superior de Ingenieros Industriales, en la fecha que oportunamente se anunciará.

9. *Propiedad y publicidad de los trabajos*

9.1. La propiedad intelectual de los trabajos pertenecerá a sus autores, aunque no podrán publicarlos total o parcialmente sin el consentimiento de la Fundación.

9.2. La publicación de los mismos deberá ir acompañada de la mención de la Ayuda recibida.

9.3. La Fundación se reserva el derecho de proceder a la publicación total o parcial de los trabajos, cualquiera que sea su naturaleza, anunciando a los autores el ejercicio de tal derecho.

10. *Obligaciones de los beneficiarios*

10.1. Deberán cumplir todos los requisitos recogidos en la presente Convocatoria.

10.2. Tendrán en cualquier momento a disposición de la Fundación, los resultados que se vayan obteniendo durante el desarrollo del trabajo.

10.3. Realizarán el trabajo siempre de acuerdo con el programa propuesto.

11. *Incidencias*

11.1. La Fundación podrá resolver, sin ulterior recurso, las incidencias que se produzcan en la tramitación de la presente Convocatoria y en el desarrollo del trabajo.

11.2. La Fundación no se hace responsable del deterioro que pudieran sufrir los trabajos presentados por los beneficiarios.

11.3. El Jurado, si lo estima conveniente, podrá citar a los candidatos y beneficiarios, para cualquier aclaración que crea necesaria.

11.4. En ningún caso se otorgará más de una Ayuda a la misma persona o equipo investigador.

11.5. El Jurado podrá declarar desierta la adjudicación total o parcial de las Ayudas.

PREMIO INVESTIGACION AGRARIA

El Instituto de Estudios Giennenses ha convocado el «Premio de Investigación Agraria 1979», que está dedicado a fomentar la investigación agraria y científica que, de una u otra forma, redunde en un mejor conocimiento de los problemas agrarios giennenses y sus posibles soluciones.

La concesión del premio se regirá por las siguientes bases:

1.^a Se establece un premio único e indivisible de cien mil pesetas, para el mejor trabajo presentado a este Concurso sobre un tema agrario de la provincia de Jaén.

2.^a El trabajo deberá ser original e inédito y habrá de suponer una importante aportación a la investigación sobre el tema señalado.

3.^a A este premio podrán concurrir investigadores agrarios, individualmente o formando equipo, de cualquier nacionalidad, pero los trabajos han de estar redactados en español.

4.^a Desde el momento de la publicación de la presente convocatoria, queda abierto el plazo de presentación de originales en la Secretaría General del Instituto de Estudios Giennenses (Palacio de la Excm. Diputación Provincial. Apartado de Correos 216, teléfono 23-36-24, Jaén), plazo que improrrogablemente se cerrará a las 19 horas del día 15 de septiembre de 1979.

5.^a Los trabajos se presentarán por triplicado, mecanografiados a doble espacio, en papel tamaño folio y tendrán una extensión mínima de 200 folios. Deberán entregarse en sobre bajo lema, que contendrá otro, en el que figure una tarjeta con los datos personales del autor. Este segundo sobre no podrá ser abierto hasta tanto no se conozca el trabajo ganador.

6.^a El Jurado Calificador será designado por el Instituto de Estudios Giennenses y formarán parte de él, como miembros natos, el Director del Instituto de Estudios Giennenses, en calidad de Presidente; el Presidente de la Sección de Agricultura y el Director del Seminario de Agricultura. El fallo del Jurado será inapelable.

7.^a El fallo se hará público el día 15 de noviembre de 1979 y la entrega del premio se efectuará en solemne acto académico organizado por el Instituto de Estudios Giennenses.

8.^a El Instituto de Estudios Giennenses se reserva el derecho de propiedad del trabajo premiado durante un plazo de cinco años.

9.^a Podrán concurrir a este premio trabajos científicos realizados con técnica universitaria y aspiraciones de tesis o tesinas, siempre que no hubiesen sido publicados en el más amplio sentido de la palabra, aunque de resultar el trabajo premiado, podrá ser utilizado, no obstante, como tal tesis o tesina universitaria, poniéndolo en conocimiento del Instituto de Estudios Giennenses y sin perjuicio de lo que se estableció en la base octava.

10.^a Si los trabajos presentados no reunieran, a juicio del Jurado Calificador, la calidad suficiente, el premio podrá declararse desierto.

11.^a Los trabajos no premiados podrán ser retirados por sus autores o personas en quien deleguen, en un plazo de seis meses a contar desde la publicación del fallo. Caso de no ser retirados en ese tiempo, pasarán a la propiedad del Instituto.

12.^a En caso de que el Jurado Calificador aconsejara la publicación de alguno de los trabajos no premiados, el Instituto de Estudios Giennenses tratará con el autor o autores acerca de la conveniencia de su publicación.

Nota: El «Premio de Investigación Agraria» para 1980 será un trabajo de investigación sobre la estructura de la propiedad rústica y el latifundio en la provincia de Jaén.

SOCIEDAD ESPAÑOLA DE CIENCIA DEL SUELO

Asambleas general ordinaria y extraordinaria de la Sociedad Española de Ciencia del Suelo.

Esta Sociedad ha celebrado dichas Asambleas, respectivamente, el 29 de enero y el 26 de febrero.

En la Asamblea general ordinaria de la Sociedad, celebrada en el Instituto de Edafología y Biología Vegetal, se tomaron diversos acuerdos, destacando los siguientes:

Programar el sistema de información a los asociados con cierta periodicidad y enviar a este efecto al menos 3 boletines durante el año.

Aprobar el balance económico de 1978 y el presupuesto del 79, confeccionado como es natural a la vista de los ingresos, los cuales no cubrirán los gastos anuales previsibles, máxime con la subida de cuotas introducida por la ISSS; sin embargo, se considera conveniente no subir la cuota en el presente y salvar el déficit que se

produzca con el saldo positivo existente actualmente gracias al remanente de dos años.

Redactar, una vez debatidas las diversas enmiendas presentadas, un nuevo borrador de los Estatutos modificados de la Sociedad, y presentarlo posteriormente a una Asamblea general extraordinaria, convocada con el exclusivo fin y único punto del día de aprobar dicho documento.

El texto modificado definitivo de los Estatutos de la Sociedad de la Ciencia del Suelo fue aprobado por unanimidad en dicha Asamblea general extraordinaria, y se autorizó al Secretario para presentarlo en el Organismo competente para su legalización.

El extracto de cuentas dado a conocer y aprobado fue el siguiente:

Saldos al 1-I-78:

Banco Pastor	147.215,23 Ptas.
BANESTO	11.494,57 »
Caja	19.235,00 »
<i>Total</i>	<u>177.944,80 »</u>
Ingresos 1978	217.427,98 »
Saldos más ingresos	395.372,80 »
Gastos 1978	200.458,85 »
Saldo a favor al 31-XII-78	194.913,95 »

La Sociedad está tratando de reorganizar el fichero de la Secretaría procurando poner al día toda la documentación de los Asociados.

Esta segunda etapa de la Sociedad, se caracteriza por un aumento creciente del número de Socios, si bien existen todavía gran número de asociados que, habiendo pertenecido desde muy antiguo a esta Sociedad, aún no han pedido actualmente su ingreso, sobre todo los procedentes de las carreras Especiales de Agrónomos y Forestales.

En la actualidad la Sociedad cuenta con 210 miembros.



AVISO IMPORTANTE

Desde principios del año en curso la revista Anales de Edafología y Agrobiología, órgano de expresión del Instituto Nacional de Edafología y Agrobiología «José María Albareda», inicia una nueva etapa, cuyo objetivo principal es acelerar la publicación de los trabajos de investigación procedentes, principalmente, de los Centros que componen este Instituto Nacional. Existen en estos momentos numerosos trabajos que esperan turno para su aparición por la escasez de espacio disponible derivada del número limitado de sus páginas y por la frecuencia de aparición de sus fascículos (6 al año).

Por otra parte se desea atender las crecientes demandas de suscripciones e intercambios que formulan particulares, Universidades y Centros de investigación extranjeros, particularmente de países del área americana, a cuyo fin se ha estimado oportuno aumentar razonablemente la tirada de Anales desde esta fecha. De esta forma igualmente, será posible incrementar las relaciones con las revistas mundiales dedicadas a la preparación de Indices, Abstracts y Anuarios, más afines con las especialidades cuyos trabajos se incluyen habitualmente en Anales.

Se aprovechará la realización de estas innovaciones para estructurar el contenido de la Revista en varias Secciones de acuerdo con la índole de los trabajos que deban publicarse, para facilitar a los lectores la búsqueda y consulta de aquellos que más puedan interesarles.

El Instituto Nacional de Edafología y Agrobiología ha debido efectuar un esfuerzo importante, particularmente en el aspecto económico, para introducir todas estas mejoras, que confiamos satisfagan a nuestros lectores.

Por consiguiente desde este número, Anales de Edafología y Agrobiología, contará con un volumen de páginas, en cada fascículo bimestral, aproximadamente doble del que ha tenido hasta ahora. También la tirada desde esta fecha quedará aumentada. Se publicarán seis fascículos que compondrán el tomo anual, que aparecerán, como es habitual, cada dos meses.

La revista tendrá una Sección dedicada a la publicación de noticias de interés para los Centros y para los Investigadores, y otra para dar a conocer los libros y publicaciones que se nos envían, de los que se hará la oportuna recensión por los especialistas del Instituto, según las materias.

Tenemos la esperanza que con las medidas adoptadas pueda alcanzarse los objetivos reseñados, principalmente los relacionados con dar a conocer lo antes posible la creciente labor de investigación efectuada por nuestros Centros.

Rogamos se tenga en cuenta las nuevas tarifas de venta de la publicación que regirán durante este año y que aparecen en la tercera página de la cubierta de Anales. Igualmente se ruega el envío de la correspondencia relativa a aspectos científicos, publicación de trabajos, etc., a la dirección de la misma: Anales de Edafología y Agrobiología, Serrano, 115 bis, Madrid-6, España. La referente a suscripciones y adquisiciones debe remitirse a: Distribución de Publicaciones del C. S. I. C., Vitrubio, 16, Madrid-6, España.

NORMAS PARA LA COLABORACION EN «ANALES DE EDAFOLOGIA Y AGROBIOLOGIA»

1.ª *Envío*.—Los trabajos que se remitan para su publicación en ANALES DE EDAFOLOGIA tendrán que ceñirse exactamente a las normas contenidas en los siguientes apartados, debiendo ser enviados a la Secretaría de la REVISTA para su registro. Se devolverán todos los recibidos que no cumplan los requisitos ordenados.

2.ª *Título*.—El título de los trabajos deberá ser muy claro y preciso, reflejando claramente su contenido. Seguidamente se indicará nombre y apellidos de los autores, Centro donde ha sido realizado y fecha de envío a la REVISTA.

3.ª *Resumen*.—Obligatoriamente los artículos deberán ir acompañados por un resumen, que con toda claridad señale el objeto del trabajo realizado, algún detalle experimental, si es fundamental para la correcta interpretación de los resultados, y las conclusiones obtenidas. Este resumen debe efectuarse en castellano, y añadirse la traducción al inglés. Además, si se desea, podrá incluirse la versión del mismo en francés, italiano o alemán.

4.ª *Redacción del texto y presentación*.—Se procurará que la redacción sea lo más concisa posible. Los trabajos deberán escribirse a máquina en doble espacio y por una sola cara, no sobrepasándose en extensión las 20 holandesas. Los autores podrán indicar, por si puede atenderse, el tamaño de la letra en la que crean conveniente se realice la impresión.

5.ª *Bibliografía*.—La bibliografía deberá reducirse a la verdaderamente indispensable, que tenga relación directa con la investigación efectuada, evitándose los comentarios extensos sobre las referencias mencionadas.

Dichas referencias se incluirán siempre a la terminación del trabajo, numeradas correlativamente y ordenadas por orden alfabético de apellidos de autores. En cada cita se consignarán, en este orden, los datos siguientes:

Apellidos e iniciales del autor. Año de la publicación a que se refiere la cita-título del trabajo citado. Título del trabajo. Nombre de la publicación —abreviada de acuerdo con las normas internacionales—, en cursiva, y tomo y página a que se refiera la nota.

Para efectuar la referencia de un libro se indicarán los siguientes datos: Apellido e iniciales del autor. Año de la edición. Título en idioma original. Tomo. Edición. Publicación (todo ello en forma similar a las citas de revistas).

6.ª *Tablas, gráficos y fotografías*.—Salvo excepciones, no deberán emplearse de forma simultánea tablas y gráficos.

El número de gráficos deberá limitarse todo lo posible. En general se recomienda la yuxtaposición de curvas que puedan ser referidas al mismo sistema de ejes coordenados.

El número de fotografías deberá igualmente limitarse, enviando sólo las que realmente —teniendo en cuenta la reproducción— sean útiles, claras e ilustrativas.

Los gráficos y dibujos vendrán dibujados sobre papel vegetal y con tinta china. En la publicación tendrán una anchura de 12 o de 6 cm., o sea, la correspondiente a una o media anchura de plana de nuestra publicación. Los autores deben señalar el tamaño que desean para sus gráficos o dibujos, y tener en cuenta que las escalas de reducción más convenientes son de 2 a 1 y de 3 a 1. Los rótulos y signos de los mismos deberán ser de tal tamaño que su altura, una vez reducida, no sea inferior a 1,5 mm.

Cada gráfico deberá acompañarse de un número de orden, reproducido en el texto. En éste, se indicará el lugar aproximado de colocación de cada uno. Los pies de gráficos y dibujos, escritos a máquina, se enviarán en papel aparte.

Para las fotografías servirán observaciones similares.

7.ª *Fórmulas y expresiones matemáticas.*—En unas y otras debe procurarse la máxima claridad en su escritura, procurando emplear las formas más reducidas o que ocupen menos espacio, siempre que ello no entrañe riesgo de incomprensión

8.ª *Caracteres de imprenta.*—Se ruega a los autores señalen en sus originales los estilos de los caracteres de imprenta que deban emplearse, de la manera siguiente:

Subrayar con una línea ————— las palabras en *cursiva*.

Subrayar con dos líneas ===== las palabras en **VERSALITAS**.

Subrayar con tres líneas ===== las palabras en **VERSALES**.

Subrayar con una línea ~~~~~ las palabras en **negrita**.

Subrayar con una línea discontinua — — — las palabras **e s p a c i a d a s**.

9.ª *Pruebas.*—Deberán devolverse, debidamente corregidas, junto con el trabajo original, en el plazo de ocho días, a partir de la fecha de envío. Pasado este plazo sin recibirse, el trabajo perderá su turno de publicación. En la corrección de pruebas no se admitirán modificaciones del texto original. Si el autor desea hacer alguna alteración del texto original que suponga gastos adicionales de impresión, éstos le serán facturados a precio de coste.

10. *Separatas.*—De cada trabajo se entregarán gratuitamente al autor 25 separatas. A petición de éste —hecha constar por escrito en la cubierta del original— podrán servirsele, a su cargo, las que desee.

11. *Examen de manuscritos.*—Los trabajos, una vez recibidos, pasarán a la Comisión de Publicaciones para informe.

ANALES DE EDAFOLOGIA Y AGROBIOLOGIA

Publicados por el INSTITUTO NACIONAL DE EDAFOLOGÍA Y AGROBIOLOGÍA «JOSÉ M.^a ALBAREDA», del Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

Integrado por los Centros:

Instituto de Edafología y Biología Vegetal. Madrid.	Centro de Edafología y Biología Aplicada de Salamanca.
Departamento de Edafología de Barcelona.	Departamento de Economía Agraria. Madrid.
Centro de Edafología de Tenerife.	Estación Experimental del Aula Dei, Zaragoza.
Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura. Murcia.	Instituto de Aclimatación. Almería.
Centro de Edafología y Biología Aplicada del Cuarto. Sevilla.	Instituto de Alimentación y Productividad Animal. Madrid.
Estación Experimental del Zaidín. Granada.	Estación Agrícola Experimental. León.
Instituto de Investigaciones Agrobiológicas de Galicia. Santiago de Compostela.	Centro Experimental Económico-Agrario La Mayora. Málaga.
	Misión Biológica de Galicia, Pontevedra.

Con la colaboración de los Organismos siguientes:

Departamento de Zootecnia de Córdoba; Instituto «Jaime Ferrán» de Microbiología, Madrid; Instituto de Biología Celular, Madrid; Centro Pirenaico de Biología Experimental de Jaca, Huesca; Instituto de Biología del Tabaco, Sevilla; Instituto Nacional de Investigaciones Agronómicas; Laboratorio del Transporte y Mecánica del Suelo (Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas); Sociedad Española de Ciencia del Suelo; Sociedad Española de Mecánica del Suelo y Cimentaciones.

Consejo de Anales de Edafología

D. Luis J. Alías Pérez, D. Julio Boza López, D. Manuel Chaves Sánchez, D. Enrique Fernández Caldas, D. Antonio García Rodríguez, D. José García Vicente, D. Miguel Gerardo Guillén López, D. Francisco Guitián Ojea, D. José Manuel Gómez Gutiérrez, D. Gaspar González González, D. Antonio Guerra Delgado, D. Joaquín Herrero Catalina, D. Angel Hoyos de Castro, D. Luis Jimeno Martín, D. Manuel Lachica Garrido, D. José Martín Aranda, D. Pedro Montserrat Recoder, D. Angel Ortuño Martínez, D. Luis Recalde Martínez, D. Andrés Suárez y Suárez, D. Francisco Velasco de Pedro, D. Ernesto Vieitez Cortizo.

Director: D. Gonzalo Bilbao Agejas.

Precios

ESPAÑA:		EXTRANJERO:	
Suscripción anual	6.000 ptas.	Suscripción anual	6.800 ptas.
Fascículo suelto	1.000 »	Fascículo suelto	1.200 »

La correspondencia relativa a trabajos y su publicación, a:

ANALES DE EDAFOLOGÍA Y AGROBIOLOGÍA
SERRANO, 115 BIS. MADRID-6 (ESPAÑA)

La correspondencia relativa a suscripciones o adquisiciones, a:

DISTRIBUCIÓN DE PUBLICACIONES DEL C. S. I. C.
VITRUBIO, 16. MADRID-6 (ESPAÑA)

(Viene de la segunda de cubierta)

Páginas

CUESTIONES GENERALES

Análisis estadístico y sociométrico de la Ciencia del Suelo, por *F. Díaz-Fierros Vi-queira* 331

ESTUDIOS RECAPITULATIVOS

Los efectos del régimen hídrico y de distintos niveles de fertilidad sobre el rendimiento, calidad y tamaño del tomate de invierno. III. Los efectos del riego en el cultivo del tomate, por *V. Hernando y B. Orihuel Gasque* 349

NOTAS 371

Aviso importante 385

ANALES DE EDAFOLOGIA
Y AGROBIOLOGIA

38 - 11

TOMO ~~XXXVIII~~ - AÑO 1979

CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTIFICAS

INDICE GENERAL

	Páginas
Prof. Dr. D. Julio Rodríguez Martínez (†)	3
Suelos volcánicos españoles. III. Olot (Gerona). Características morfológicas y químicas, por <i>C. Vizcayno Muñoz, J. García Vicente y M. T. García González</i>	7
Suelos volcánicos españoles. IV. Olot (Gerona). Mineralogía de la fracción arcilla, por <i>C. Vizcayno Muñoz, M. T. García González y J. García Vicente</i>	23
Suelos del Norte de la Sierra de Francia, por <i>J. F. Gallardo y J. A. Egido</i>	47
Caracterización de un suelo desarrollado sobre cenizas volcánicas de la Sierra Ecuatoriana, por <i>Juan L. de Olmedo y Luis Mejía</i>	67
Evolución de los minerales de la arcilla en cuatro perfiles de la Sierra de Francia (Salamanca), por <i>M. Ledesma, M. A. Vicente, J. Gallardo y J. A. Egido</i>	83
Calores de adsorción de fosfatos de trialquilo por montmorillonita, por <i>G. Dios Cancela y S. González García</i>	99
Interacción del 1-2 propilén carbonato con montmorillonita. I. Estudio rontgenográfico y térmico, por <i>G. Dios Cancela</i>	109
Acción de la hidrólisis ácida sobre los ácidos húmicos. Componente proteica, por <i>J. Cegarra y F. Costa</i>	121
Evaluación del peso molecular-promedio ponderal (Mw) de ácidos húmicos por un método combinado de gel-filtración y difusión, por <i>F. J. González Vila y F. Martín Martínez</i>	137
Estudio de la distribución vertical de Eumycetes en los Andosoles de Tenerife: Perfil Izaña, por <i>G. Vivancos Gallego y A. M. Borges Alvarez</i>	147
Ecological importance of antibiotics in soil: Production of antibiotics by species of <i>Penicillium</i> in an Andosol in the province of Navarra, Spain, by <i>A. T. Martínez and C. Ramírez</i>	159
Effect of iron-nickel interactions on the availability of copper and manganese, by <i>S. G. Misra and R. S. Dwivedi</i>	167
Efecto del uso del suelo sobre algunos indicadores de fertilidad en dos subórdenes (Andept y Tropet) del Altiplano de Pasto, Colombia. I. Materia orgánica y bases cambiables, por <i>Ricardo Guerrero, Alvaro Dávila y Carlos Torres</i>	173
Efecto del uso del suelo sobre algunos indicadores de fertilidad en dos subórdenes (Andept y Tropet) del Altiplano de Pasto, Colombia. II. Disponibilidad de Cu, Zn, Fe y B, por <i>Ricardo Guerrero, Alvaro Dávila y Carlos Torres</i>	187
Efecto de la fertilización de soja con distintas formas de azufre, por <i>C. Lluch, M. Gómez y J. Olivares</i>	197
Equipo automático para cultivo hidropónico con solución circulante, por <i>M.^a P. Sánchez Conde y P. Azuara</i>	207
Influencia del pH, arcilla y mecanismos de reacción del fósforo en el suelo sobre la capacidad tampón del ion fosfato, por <i>J. A. Díez</i>	221

Efecto de la interacción NaCl-P sobre el contenido foliar de Fe, Mn, Zn, Cu y B, en plantas, por <i>A. Cerda</i> y <i>F. T. Bingham</i>	233
Crecimiento y metabolismo nitrogenado en plantas de <i>Nicotiana rustica</i> L. irradiadas con UV cercano. I. Caracteres vegetativos y aminoácidos, por <i>M.^a T. Piñol</i> , <i>J. Barceló</i> y <i>C. Morales</i>	245
Crecimiento y metabolismo nitrogenado en plantas de <i>Nicotiana rustica</i> L. irradiadas con UV cercano. II. Acidos nucleicos: ADN y ARN, por <i>M.^a T. Piñol</i> y <i>C. Morales</i>	257
Interacciones entre K, Ca y Mg a nivel de su absorción y distribución en plantas de tomate, por <i>I. Agüi</i> , <i>M. Gómez</i> y <i>L. Recalde</i>	267
Efecto de la proporción K, Ca y Mg en la solución nutritiva sobre la absorción y distribución de micronutrientes, por <i>I. Agüi</i> , <i>M. C. Alvarez-Tinaut</i> y <i>L. Recalde Martínez</i>	283
Evolución del proceso de biosíntesis proteica a través de la composición de aminoácidos libres en savia de tomatera por <i>V. Hernando</i> , <i>P. Buenadicha</i> y <i>M. Torres</i> .	301
Correlaciones entre bioelementos en especies pratenses bajo los efectos de la madurez. I. Leguminosas, por <i>A. Valdés Amado</i> , <i>B. García Criado</i> y <i>J. M. Gómez Gutiérrez</i> .	309
Análisis estadístico y sociométrico de la Ciencia del Suelo, por <i>F. Díaz-Fierros Viçeira</i>	331
Los efectos del régimen hídrico y de distintos niveles de fertilidad sobre el rendimiento, calidad y tamaño del tomate de invierno. III. Los efectos del riego en el cultivo del tomate, por <i>V. Hernando</i> y <i>B. Orihuel Gasque</i>	349
NOTAS	371
Aviso importante	385
Procesos geodédaficos de la génesis, evolución y desarrollo de la tierra parda meridional. IV. perfiles desarrollados sobre roca filoniana: características morfológicas y físico-químicas, por <i>A. Guerra Delgado</i> y <i>J. L. Moreno Alvarez</i>	387
Suelos volcánicos españoles. V. Campo de Calatrava (Ciudad Real). Características morfológicas y químicas, por <i>C. Vizcayno Muñoz</i> , <i>J. García Vicente</i> y <i>M. T. García González</i>	414
Suelos volcánicos españoles. VI. Campo de Calatrava (Ciudad Real). Mineralogía de la fracción arcilla, por <i>C. Vizcayno Muñoz</i> , <i>M. T. García González</i> y <i>J. García Vicente</i>	431
Suelos volcánicos españoles. VII. Olot (Gerona). Mineralogía de las fracciones arena y limo, por <i>C. Vizcayno Muñoz</i> , <i>T. Aleixandre</i> y <i>A. Pinilla</i>	447
Estudio edáfico del sector Jabalcuz-Los Villares. I. Características generales, por <i>J. Aguilar</i> , <i>C. Dorronsoro</i> , <i>C. Antolín</i> y <i>A. García</i>	465
Vertisoles formados sobre materiales volcánicos (Islas Canarias). Typic chromusterts. II. Mineralogía de las arcillas. Interpretación y clasificación, por <i>C. Rodríguez-Pascual</i> , <i>E. Fernández-Caldas</i> y <i>C. M. Rodríguez-Hernández</i>	487
Relaciones entre los elementos mayoritarios, minoritarios y traza en dos suelos de las Islas Canarias, por <i>C. Vizcayno Muñoz</i> , <i>M. T. García González</i> y <i>J. García Vicente</i>	505
Características del suelo y vegetación de un área salina limítrofe de la Marisma del Guadalquivir (Isla Menor), por <i>M. Chaves Sánchez</i> y <i>J. M. Murillo Carpio</i>	521
Suelo y vegetación de dos zonas salinas de la Marisma de Lebrija (Sevilla). II. Características de la vegetación, por <i>J. M. Murillo Carpio</i> , <i>M. Chaves Sánchez</i> y <i>C. Mazuelos Vela</i>	535

Estudio de materiales coaliníticos de Sierra Morena occidental. III. Mineralogía y génesis de los materiales caoliníticos de los yacimientos paleozoicos de S. Telmo y Sta. Bárbara (Huelva), y el Alamo (Sevilla), por <i>J. Poyato Ferrera, J. L. Pérez Rodríguez, G. García Ramos y F. González García</i>	555
Propiedades físicas y químicas en relación con la porosidad de los suelos: influencia del ciclo natural de humectación-deseccación. I. Perfiles representativos, condiciones ambientales y muestreos considerados en el estudio, por <i>J. Martín Aranda y J. L. Arrue Ugarte</i>	575
The PZC of $Al_2O_3 + SiO_2$ mixtures, by <i>M. Tschapek, R. M. Torres Sánchez and C. Wasowski</i>	589
El uso de tensiómetros para medir la humedad de substratos orgánicos, por <i>M. T. Felipó, O. Verdonck, I. Cappaert, J. Cardus y M. de Boodt</i>	595
Estudio de las propiedades físicas de los substratos hortícolas, por <i>M. T. Felipó Oriol, O. Verdonck, I. Cappaert y M. de Boodt</i>	603
Estudio del umbral de coagulación de ácidos húmicos con Ca, Mn y Zn, por <i>P. Reverte, T. Hernández, L. Reverte y F. Costa</i>	613
Interacción de ácidos húmicos y fúlvicos con Ca, Mn y Zn. Estudio de infrarrojo, por <i>T. Hernández, P. Reverte, L. Reverte y F. Costa</i>	621
Contribución al conocimiento del equilibrio de cationes en suelos calizos, por <i>Antonio Lax y Francisco Gómez Amorós</i>	631
Acción diferencial del nitrato y del amonio en la producción de <i>Lolium perenne</i> cultivado en prado artificial de siega continua, por <i>F. Gil, A. Caballero y D. Guadilla</i>	643
Crecimiento y metabolismo nitrogenado en plantas de <i>Nicotiana rustica</i> L. irradiadas con UV cercano. III. Nicotina, por <i>M. Serrano y M.ª T. Piñol</i>	667
Los efectos del régimen hídrico y de distintos niveles de fertilidad sobre el rendimiento, calidad y tamaño del tomate de invierno. IV Efectos del régimen hídrico y del PK sobre el crecimiento y rendimiento del tomate, por <i>V. Hernando y B. Orihuel Gasque</i>	675
Ahijamiento y producción del trigo de primavera. I. Respuesta al nitrógeno, por <i>V. J. Mangas Martín y L. Sánchez de la Puente</i>	689
Absorción de nutrientes por trigo y malezas en el Sur de la provincia de Buenos Aires (Argentina), por <i>D. E. Buschiazzo y N. Peinemann</i>	703
NOTAS	717
BIBLIOGRAFÍA	749
Estudio genético del suelo tipo del Alto de los Leones (Madrid), por <i>A. Hoyos de Castro, M.ª L. Palomar G.ª-Villamil y J. Hernando Costa</i>	751
Desarrollo del suelo sobre material silíceo en función del tiempo, clima y vegetación, por <i>A. Hoyos de Castro, M.ª L. Palomar G.ª-Villamil y C. Fernández Bermejo</i>	763
Estudio de materiales caoliníticos de Sierra Morena occidental. I. Propiedades y proceso de génesis de caolines de Cerro Colorado (Riotinto, Huelva), por <i>J. Poyato Ferrera, F. González García, G. García Ramos y J. L. Pérez Rodríguez</i>	779
Estudio de materiales caoliníticos de Sierra Morena occidental. II. Propiedades y proceso de génesis de caolines de Traslasierra (Huelva), por <i>J. Poyato Ferrera, F. González García, J. L. Pérez Rodríguez y G. García Ramos</i>	795
Estudio edáfico del sector Jabalcuz-Los Villares. IV. Mineralogía de la fracción arcilla, por <i>C. Dorronsoro, J. Aguilar y C. Antolín</i>	809

Estudio del Cambisol «Los Labrados» sobre granito de El Pedroso (Sevilla). I. Datos del medio, morfología y propiedades generales, por <i>L. Corral Mora, N. Bellinfante Crocci, M. Medina Carnicer y G. Paneque Guerrero</i>	821
Meteorización de sedimentos carbonatados blandos bajo clima mediterráneo, por <i>Juan L. de Olmedo Pujol</i>	827
Contenido en fósforo total y su relación con otros parámetros en una cronosecuencia de Andepts de las Islas Canarias, por <i>E. Fernández Caldas, J. A. Pérez Méndez, F. Gutiérrez Jerez y A. Borges Pérez</i>	841
Influencia del pH en la génesis de gibsita-clorita-vermiculita y caolinita en suelos de Navarra, por <i>Elisa Barragán Landa y Jaime Iñíguez Herrero</i>	851
Evaluación para riegos de los suelos de la Estación Experimental La Mayora, por <i>Juan de Olmedo Pujol y Roque Romero Díaz</i>	863
Cambios sinecológicos de la microflora telúrica asociados a las repoblaciones forestales con especies exóticas, por <i>F. Velasco de Pedro y J. M. Lozano Calle</i>	871
Propiedades físicas y químicas en relación con la porosidad de los suelos: Influencia del ciclo natural de humectación-deseccación. II. Porosidad total y diferencial, por <i>J. L. Arrúe Ugarte y J. Martín Aranda</i>	881
Propiedades físicas y químicas en relación con la porosidad de los suelos: Influencia del ciclo natural de humectación-deseccación. III. Porosidad y fracción arcilla, por <i>J. L. Arrúe Ugarte, F. Moreno, J. L. Pérez Rodríguez y J. Martín Aranda</i>	899
Influjo del ion Mg^{++} en la evolución del ortofosfato dicálcico dihidrato en contacto con suspensiones de minerales de la arcilla, por <i>J. García de Leóniz, F. González García y J. A. Pinilla Barrau</i>	917
Ahijamiento y producción del trigo de primavera. II. Respuesta al calcio y manganeso e interacciones de los nutrientes, por <i>V. J. Mangas Martín y L. Schez. de la Puente</i> .	927
Respuesta de la asociación trigo-avena loca a la fertilización potásica, por <i>R. González Ponce</i>	939
Respuesta de la asociación trigo-avena loca a la fertilización nitrogenada, por <i>R. González Ponce</i>	945
Efectos del tamaño de grano de fertilizantes PK en la producción de praderas, por <i>R. Fábregas, E. Vieitez y J. Arinés</i>	951
Aplicación de los espectros de diversidad al estudio de la heterogeneidad en comunidades de pastizal, por <i>A. Puerto Martín, A. Escudero Berián y J. M. Gómez Gtrrez</i> .	957
Correlaciones entre bioelementos en especies pratenses bajo los efectos de la madurez. II. Gramíneas, por <i>A. Valdés Amado, B. García Criado y J. M. Gómez Gutiérrez</i> .	967
Estudio comparativo de métodos para la determinación de fósforo orgánico total en andosoles, por <i>F. Gutiérrez Jerez, E. Fernández Caldas, J. A. Pérez Méndez e I. Trujillo Jacinto del Castillo</i>	981
Efectos fisiológicos de la interacción boro-manganeso en plantas de tomate. II. Absorción y distribución de macroelementos, por <i>M. C. Álvarez-Tinaut, A. Leal, I. Agüi y L. Recalde</i>	991
Efectos fisiológicos de la interacción boro-manganeso en plantas de tomate. III. Absorción y distribución de los microelementos Mn, Cu y Zn, por <i>M. C. Álvarez-Tinaut, A. Leal, M. Gómez y L. Recalde</i>	1013
Relaciones fisiológicas de bioelementos durante el crecimiento y desarrollo de la hoja y el brote de limoneros cultivados en suelos salinos, por <i>A. Hernansáez, M.^a Parra y A. Ortuño</i>	1031
Los macronutrientes catiónicos en el maíz (<i>Zea mays</i> L.). I. Variaciones de la composición con el desarrollo, por <i>Benito Sánchez y Gerardo Dios</i>	1039

Los macronutrientes catiónicos en el maíz (<i>Zea mays</i> L.). II. Evolución de la acumulación de K, Ca y Mg y de sus relaciones durante el cultivo, por Benito Sánchez y Gerardo Dios	1059
Empleo de unidades térmicas y capa negra en la clasificación de híbridos de maíz para Galicia, por A. Ordás	1079
Evolución de los equilibrios fisiológicos y sus relaciones con el metabolismo de macro y micronutrientes en cultivos de olivar, por C. Mazuelos Vela, J. Prieto Alcántara, J. Liñán Benjumea y E. Esteban Velasco	1089
Influencia de compuestos fenólicos sobre la destrucción auxínica, por M. C. Mato ...	1099
NOTAS	1105
Características generales de los suelos fersialíticos de las Islas Canarias, por A. Rodríguez R., M. L. Tejedor S. y E. Fernández-C.	1121
Estudio del cambisol «Los Labrados» sobre granito de El Pedroso (Sevilla). II. Mineralogía de las arenas y micromorfología, por L. Corral M., N. Bellinfante C., M. Medina C. y G. Paneque G.	1139
Nuevos datos sobre la influencia de la vegetación en la formación del suelo en Galicia. I. Interceptación de la precipitación, por R. M. ^a Calvo de Anta, A. Paz G. y F. Díaz-Fierros V.	1151
Las clases y subclases de capacidad de uso de los suelos de Gran Canaria, por J. Sánchez D., A. Guerra D. y E. Fernández C.	1165
Retención de 1, 3, 5, triazina-2, 4, diamino-6, cloro-N, N', dietilo (Simazina) sobre muestras homoiónicas de montmorillonita y vermiculita y sobre un gel de sílice, por J. de D. López G., C. Valenzuela C. y M. Gaitán P.	1177
Fósforo orgánico en andosoles y su relación con otros parámetros del suelo, por J. A. Pérez M., F. Gutiérrez J., E. Fernández C. e I. Trujillo J. del Castillo	1199
Fraccionamiento de los fosfatos orgánicos en andosoles de las Islas Canarias, por F. Gutiérrez J., J. A. Pérez M., E. Fernández C. e I. Trujillo J. del Castillo	1209
Fraccionamiento de los fosfatos inorgánicos en andosoles de las Islas Canarias, por J. A. Pérez M., F. Gutiérrez J., E. Fernández C. y A. Borges P.	1221
Studies on sodium-calcium exchange equilibria. I. In danish soils. 1. The Equilibrium activity ratios and the Quantity/Intensity relationships of sodium in marsh soils, by M. H. Nafady	1237
Studies on sodium-calcium exchange equilibria. I. In danish soils. 2. The form of sodium exchange isotherm, its properties, and the effect of some treatments, by M. H. Nafady	1247
El color en los suelos y su posible influencia en la fertilidad del olivo, por C. Sierra, J. Campos, J. Aguilar y M. Delgado	1261
Efecto de la adición de caliza sobre el pH y la disponibilidad de elementos de un suelo ácido, con especial referencia al fósforo, por E. Vieitez, J. Arines y R. Fábregas.	1277
Extracción de hierro activo en suelos calizos con pirofosfato, por M. R. Martínez F., F. G. Fernández, M. Romero y M. Caro	1291
Metabolismo fosfórico de <i>Aspergillus niger</i> en suelos calizos y salinos, por A. Ortuño, J. ^a Noguera, A. Hernansáez y T. ^a Armero	1301
Acción solubilizadora de fósforo por <i>Aspergillus niger</i> y <i>Pseudomonas fluorescens</i> , por A. Ortuño, A. Hernansáez, J. ^a Noguera, V. Morales y T. ^a Armero	1311
<i>Rhizobium meliloti</i> nativo en suelos cultivados con cereales, por M. A. Sagardoy ...	1317
Nitrógeno, fósforo, potasio y elementos menores en los suelos volcánicos del valle de Sibundoy, Colombia, por O. Bastidas, A. Caicedo, F. Romo, M. Villota, M. Blas-co y L. Legarda	1325

Extracción con ditionito y oxalato de óxidos de hierro libre en suelos calizos y su relación con el extraído con pirofosfato, por <i>M. R. Martínez F., M. Romero, F. G. Fernández y M. Caro</i>	1339
Degradación de simazina y atrazina en suelos salinos del Sureste español, por <i>A. Ortuño, M.ª Parra y J. Egea C.</i>	1351
Isotermas de adsorción de DBCP en suelos, por <i>O. Carpena A., A. Ortuño M., J. M. Abrisqueta G., J. Laencina S. y A. Alonso-Allende Y.</i>	1357
Estudio de la persistencia del nematicida 1,2-dibromo-3-cloropropano (DBCP) y su efectividad sobre <i>Tylenchulus semipenetrans</i> en un suelo citrícola de la vega del Segura, por <i>A. Ortuño, J. M.ª Abrisqueta y J. Gómez</i>	1365
Contribución al control fitosanitario del Acaro de las Maravillas de los Agrios (<i>Aceria sheldoni</i> Ewing), por <i>J. Gómez, A. Ortuño y F. L. Cánovas</i>	1371
Estudio de la contaminación de suelos y plantas por metales pesados en los entornos de las autopistas que confluyen en Madrid. I. Autopistas de Barajas y Valencia, por <i>J. R. Sanchidrián y M. Mariño</i>	1377
Acción del ácido α -naftalén acético sobre los procesos de histogénesis de tejidos de <i>Helianthus tuberosus</i> L. variedad «Blanc Sutton» cultivados in vitro. I. Neoformación de raíces y organización de zonas generatrices libero-leñosas, por <i>M. J. García R.</i>	1389
Estudio de las variaciones en el crecimiento de la raíz de guisante producidas por tres ácidos húmicos, por <i>C. Ortega, C. Fortún, A. Polo y E. Dorado</i>	1399
Variaciones ultraestructurales en <i>Parmelia conspersa</i> S. L. provocadas «in vitro» por diferentes grados de humedad ambiental, por <i>C. Ascaso</i>	1409
Modelación matemática y evaluación agrícola de suelos, por <i>D. de la Rosa y J. Almorza.</i>	1421
El <i>Pinus radiata</i> D. Don en Chile. Revisión de las condiciones del cultivo, por <i>C. González O., R. Kosche P. y M. Lachica</i>	1427
NOTAS	1435
La fijación biológica de nitrógeno. Importancia y perspectivas, por <i>J. Olivares, E. J. Bedmar y J. Casadesús</i>	1457
Estudio micromorfológico de la alteración de rocas metamórficas y edafogénesis en la Sierra de Francia (Salamanca), por <i>C. Espino y G. Paneque</i>	1467
Estudio de los fosfatos inorgánicos en relación con el grado de evolución en andosoles, por <i>F. Gutiérrez Jerez, J. A. Pérez Méndez, E. Fernández Caldas y A. Borges Pérez</i>	1479
Contribución al estudio de los suelos de alta montaña sobre rocas carbonatadas, por <i>L. J. Alias y J. Hernández</i>	1495
Mineralogía y génesis de suelos con horizonte B textural sobre sedimentos sueltos en el Sureste de España, por <i>L. J. Alias y J. Albaladejo</i>	1513
Estudio sedimentológico contrastado de la «Facies Madrid» y la «Facies rojiza de Guadalajara». Consideraciones sobre su génesis y evolución, por <i>L. Alcalá del Olmo Bobadilla, T. Badorrey Péracho y J. L. Moreno Álvarez</i>	1533
Los suelos del Barranco Hondo (Sierra Nevada). I. Tipologías y factores formadores, por <i>R. Delgado Calvo-Flores, E. Barahona Fernández y J. Linares</i>	1543
Los suelos del Barranco Hondo (Sierra Nevada). II. Estudio Geoquímico, por <i>R. Delgado Calvo-Flores, F. Huertas y J. Linares</i>	1555
Disolución diferencial de Si, Al y Fe. I. Secuencia climática: andosoles, suelos pardos, por <i>O. Cabezas Viaño, E. Fernández Caldas, M. L. Tejedor Salguero y J. M. Hernández Moreno</i>	1573

Disolución diferencial de Si, Al y Fe. II. Secuencia climática: S. ferralíticos, S. fersialíticos y vertisoles, por E. Fernández Caldas, M. L. Tejedor Salguero y J. M. Hernández Moreno	1591
Suelos fersialíticos sobre cenizas volcánicas. I. Características morfológicas y fisico-químicas, por A. Rodríguez Rodríguez, M. L. Tejedor Salguero y E. Fernández Caldas	1607
Suelos fersialíticos sobre cenizas volcánicas. II. Características mineralógicas, por A. Rodríguez Rodríguez, M. L. Tejedor Salguero y E. Fernández Caldas	1625
Suelos fersialíticos sobre lapillis basálticos. I. Características morfológicas fisico-químicas y mineralógicas, por A. Rodríguez Rodríguez, P. Quantín, M. L. Tejedor Salguero y E. Fernández Caldas	1641
Aproximación a un mejor conocimiento edáfico de las zonas de contacto Paleozoico-Mioceno de los Montes Islas (Toledo), por R. Jiménez Ballesta, C. Vizcaino Muñoz y M. Pérez Melero	1668
Nuevos datos sobre la influencia de la vegetación en la formación del suelo en Galicia. II. Aportes de elementos por lavado de cubierta y tronco, por Rosa M. ^a Calvo de Anta, A. Paz González y F. Díaz-Fierros Viqueira	1675
Notas sobre técnicas de investigación de sustancias húmicas. III. Fraccionamiento de sustancias húmicas mediante adsorción sobre resina Amberlite XAD-8, por J. F. Gallardo y M. I. M. González	1693
Biodegradation and humification of organic matter in humiferous Atlantic soils. I. Biodegradation, by M. Carballas, T. Carballas and F. Jacquín	1699
Influencia de la acción metabólica de microorganismos edáficos sobre coloides inorgánicos del suelo, por A. Hernández, A. Ortuño y J. Albaladejo	1720
La utilización de índices de productividad para pronosticar la aptitud relativa de los suelos, por D. de la Rosa y J. L. Mudarra	1725
Microbiología de un suelo cultivado con la secuencia trigo-barbecho-trigo, por M. A. Sagardoy	1735
Poder fertilizante de un «compost» de basura urbana. I. Capacidad de suministro de macronutrientes, por F. Gallardo-Lara, M. Azcón, M. Gómez y E. Esteban... ..	1747
Nematodos encontrados en los suelos de la provincia de Toledo, por A. Bello	1765
Efectos del régimen hídrico y de distintos niveles de fertilidad sobre el rendimiento, calidad y tamaño del tomate de invierno. V. Efectos del régimen hídrico y del PK, sobre la calidad del tomate, por V. Hernando y B. Orihuel Gasque	1785
Estudio de la distribución dinámica de micronutrientes en plantas de guisante, por J. Yáñez, L. A. del Río, M. Lachica y M. Gómez	1803
Aspectos físicos y químicos del crecimiento y maduración en variedades de ciruela de interés en la región murciana, por F. Romojaro, E. Banet y S. Llorente	1815
Germinación, desarrollo vegetativo y composición mineral del guisante (<i>Pisum sativum</i>) en condiciones salinas, por A. Cerda, M. Caro, F. G. Fernández y M. G. Guillén	1827
Estudio de algunos de los factores fisiológicos que determinan la capacidad productiva de la planta de trigo. I. Interacción entre las aplicaciones de fertilizante nitrogenado y azufre elemental en la fase de ahijado (cobertera temprana), por L. Recalde Manrique y M. Gómez Ortega	1839
Estudio de algunos de los factores fisiológicos que determinan la capacidad productiva de la planta de trigo. II. Interacción entre las aplicaciones foliares de urea y azufre elemental en la fase de encañado (cobertera tardía), por J. Recalde Manrique y M. Gómez Ortega	1855

	Páginas
Sensor portátil para detectar agua libre en piezómetros de pequeñas dimensiones, por <i>O. Merino</i> y <i>J. Merino</i>	1867
NOTAS	1873
El orden Alfisol en la isla Gran Canaria, por <i>J. Sánchez Díaz</i> , <i>A. Guerra Delgado</i> y <i>E. Fernández Caldas</i>	1887
Estudio edáfico del sector Jabalcuz-Los Villares. II. Estudio mineralógico de la fracción arena gruesa (2-0,2 mm.), por <i>C. Dorronsoro</i> , <i>J. Aguilar</i> y <i>C. Antolín</i>	1907
Estudio edáfico del sector Jabalcuz-Los Villares. III. Estudio micromorfológico, por <i>J. Aguilar</i> , <i>C. Dorronsoro</i> y <i>C. Antolín</i>	1931
Suelos fersialíticos sobre lapillis basálticos. II. Características micromorfológicas. Interpretación y clasificación, por <i>A. Rodríguez Rodríguez</i> , <i>M. L. Tejedor Salguero</i> y <i>E. Fernández Caldas</i>	1945
Suelos volcánicos españoles. VIII. Campo de Calatrava (Ciudad Real). Mineralogía de las fracciones arena y limo, por <i>C. Vizcayno M.</i> , <i>T. Aleixandre</i> y <i>A. Pinilla</i>	1951
Estudio de la fracción arcilla de un Paleargid xeráfico del campo de Cartagena, por <i>L. J. Alías</i> , <i>R. Ortiz</i> y <i>J. Albaladejo</i>	1973
Nuevos datos sobre la influencia de la vegetación en la formación del suelo en Galicia. III. Aportes por hojarasca, pérdidas por drenaje y escorrentía. Balance del agua y los elementos a través del suelo, por <i>R. M.^a Calvo de Anta</i> , <i>A. Paz González</i> y <i>F. Díaz-Fierros Viqueira</i>	1983
Caracterización de las sustancias húmicas en la fracción húmica de los suelos, por <i>G. Almendros</i> , <i>A. Polo</i> y <i>E. Dorado</i>	2001
Estudio de un suelo pseudogley de la provincia de Burgos. Distribución de ácidos húmicos en las diferentes fracciones físicas, por <i>S. González G.</i> y <i>S. Bruckert</i>	2017
An approach to the classification of agricultural and nonagricultural soil evaluation systems, por <i>D. de la Rosa</i> and <i>V. W. Carlisle</i>	2027
Sobre la coexistencia de los procesos edáficos y geomorfológicos, por <i>E. Barahona Fernández</i> y <i>J. Linares González</i>	2039
Estudio de la textura superficial de granos de cuarzo procedentes de granito por medio del microscopio electrónico de barrido, por <i>M. T. Martín Patino</i> , <i>J. Casas Sáinz de Aja</i> y <i>J. A. Medina</i>	2047
Sorción interlaminar de aminas alifáticas en minerales interestratificados mica-montmorillonita, por <i>A. Ruiz Amil</i> , <i>C. Viton Barbolla</i> y <i>F. Aragón de la Cruz</i>	2055
Efecto de diferentes abonos fosfatados en la producción de materia seca en praderas permanentes de Galicia, por <i>E. Vieitez</i> , <i>R. Fábregas</i> y <i>J. Arines</i>	2065
Estudio en invernadero del efecto de encalado y abonado PK sobre la fertilidad de un suelo ácido, por <i>R. Fábregas</i> , <i>J. Arines</i> y <i>E. Vieitez</i>	2073
El medio físico del suelo en ecosistemas de pastizales, por <i>M. L. Ramos del Arco</i> y <i>S. Cuadrado Sánchez</i>	2083
Estudio de algunos de los factores fisiológicos que determinan la capacidad productiva de la planta de trigo. III. Efecto comparativo de las aplicaciones foliares de azufre elemental pulverizado y de ácido 2-cloro-etil-fosfónico (Ethrel), por <i>L. Recalde Manrique</i> y <i>L. Recalde Martínez</i>	2105
Estudio de algunos de los factores fisiológicos que determinan la capacidad productiva de la planta de trigo. IV. Interacción entre las aplicaciones de fertilizante nitrogenado en la fase de ahijado (cobertera temprana) y la variedad, por <i>L. Recalde Manrique</i> y <i>L. Recalde Martínez</i>	2115

Los efectos del régimen hídrico y de distintos niveles de fertilidad sobre el rendimiento, calidad y tamaño del tomate de invierno. VI. Efectos del régimen hídrico y del PK sobre el tamaño del fruto, por <i>V. Hernando</i> y <i>B. Orihuel Gasque</i> ...	2125
El <i>Pinus radiata</i> D. Don en Chile. Determinación de los índices nutritivos óptimos de las plántulas, por <i>M. Lachica</i> , <i>R. Kosche P.</i> y <i>C. González O.</i> ...	2141
Anatomía del leño de <i>Micromeria</i> (Lamiaceae). Estudio fisioecológico, por <i>A. Carlos Blesa</i> , <i>M. Soledad Jiménez</i> y <i>A. Caballero Ruano</i> ...	2159
Estudio anatómico-fisiológico del leño de las Crasuláceas en relación con el hábitat, por <i>A. C. Blesa R.</i> , <i>A. Caballero-Ruano</i> y <i>M. S. Jiménez Parrondo</i> ...	2169
Influencia de la temperatura en la germinación del polen de var. de almendro, por <i>J. Efigenio García García</i> y <i>L. Egea Ibáñez</i> ...	2181
Crecimiento, producción y nutrición mineral de la fresa sometida a déficits hídricos en ciertos periodos de desarrollo, por <i>R. Martínez-Carrasco</i> y <i>L. Sánchez de la Puenta</i> ...	2195
Descripción automática de la vegetación. III. Clasificación y ordenación simultáneas de datos cualitativos, por <i>F. Díaz P.</i> , <i>F. González B.</i> y <i>J. P. de Nicolás</i> ...	2207
Ecología de leguminosas en relación con algunos factores ambientales en Guadalajara. II. Relaciones con el clima, la altitud, la exposición y la pendiente, por <i>M. Morey</i> ...	2225
NOTAS ...	2243

INDICE DE AUTORES

	<u>PÁGINAS</u>		<u>PÁGINAS</u>
<i>Abrisqueta, J. M.^a</i> ...	1357 y 1365	<i>Caballero, A.</i> ...	643
<i>Agüi, I.</i> ...	267, 283 y 991	<i>Caballero Ruano, A.</i> ...	2159 y 2169
<i>Aguilar, J.</i> 465, 809, 1261, 1907 y	1931	<i>Cabezas Viaño, O.</i> ...	1573
<i>Albaladejo, J.</i> ...	1720 y 1973	<i>Caicedo, A.</i> ...	1325
<i>Alcalá del Olmo, L.</i> ...	1533	<i>Calvo de Anta, R. M.^a</i> 1151, 1675	
<i>Aleixandre, T.</i> ...	447 y 1951	y 1983	
<i>Alias, L. J.</i> ...	1495, 1513 y 1973	<i>Campos, J.</i> ...	1261
<i>Almendros, G.</i> ...	2001	<i>Cánovas, F. L.</i> ...	1371
<i>Almorza, J.</i> ...	1421	<i>Cappaert, I.</i> ...	595 y 603
<i>Alonso Allende, Y. A.</i> ...	1357	<i>Carballas, M.</i> ...	1699
<i>Alvarez-Tinaut, M. C.</i> 283, 991 y	1013	<i>Carballas, T.</i> ...	1699
<i>Antolín, C.</i> ...	465, 809, 1907 y 1981	<i>Cardús, J.</i> ...	595
<i>Aragón de la Cruz, F.</i> ...	2055	<i>Carlisle, V. W.</i> ...	2027
<i>Arines, J.</i> ...	951, 1277, 2065 y 2073	<i>Caro, M.</i> ...	1291, 1339 y 1327
<i>Armero, T.</i> ...	1301 y 1311	<i>Carpena, O.</i> ...	1357
<i>Arrue Ugarte, J. L.</i> 575, 881 y	899	<i>Casadesús, J.</i> ...	1457
<i>Ascaso, C.</i> ...	1409	<i>Casas Sainz de Aja, J.</i> ...	2047
<i>Azcón, M.</i> ...	1513 y 1747	<i>Cegarra, J.</i> ...	121
<i>Azuara, P.</i> ...	207	<i>Cerda, A.</i> ...	233 y 1327
 		<i>Corral Mora, L.</i> ...	821 y 1139
<i>Badorrey Peracho, T.</i> ...	1533	<i>Costa, F.</i> ...	121, 613 y 621
<i>Balcells, E.</i> ...	2257	<i>Creus-Novau, J.</i> ...	2257
<i>Banet, E.</i> ...	1815	<i>Cuadrado Sánchez, S.</i> ...	2083
<i>Barahona Fernández, E.</i> 1543 y	2039	 	
<i>Barceló, J.</i> ...	245	<i>Chávez Sánchez, M.</i> ...	521 y 535
<i>Barragán Landa, E.</i> ...	815	 	
<i>Bastidas, O.</i> ...	1325	<i>Dávila, A.</i> ...	173 y 187
<i>Bedmar, E. J.</i> ...	1457	<i>Delgado, M.</i> ...	1261
<i>Bello, A.</i> ...	1765	<i>Delgado Calvo-Flores, R.</i> 1543 y	1555
<i>Bellinfante Crocci, N.</i> ...	821 y 1131	<i>Díaz Fierros, F.</i> 331, 1151, 1675	
<i>Bilbao, G.</i> ...	749, 750, 2257 y 2259	y 1983	
<i>Bingham F. T.</i> ...	233	<i>Díaz, P. F.</i> ...	2207
<i>Blasco, M.</i> ...	1325	<i>Diez, J. A.</i> ...	221
<i>Blesa, A. C.</i> ...	2159 y 2169	<i>Dios Cancela, G.</i> 99, 109, 1039 y	1059
<i>Boodi, M. de</i> ...	595 y 603	<i>Dorado, E.</i> ...	1399 y 2001
<i>Borges Alvarez, A. M.</i> ...	147	<i>Dorronsoro, C.</i> 465, 809, 1907 y	1931
<i>Borges Pérez, A.</i> ...	841, 1221 y 1479	<i>Dwivedi, R. S.</i> ...	169
<i>Bruckert, S.</i> ...	2017	 	
<i>Buenadicha, P.</i> ...	301	<i>Egea, C. J.</i> ...	1351 y 2181
<i>Buschiazzo, D. E.</i> ...	703	<i>Egido, J. A.</i> ...	47 y 83
		<i>Escudero Beritán, A.</i> ...	957

PÁGINAS

<i>Espino, C.</i>	1467
<i>Esteban Velasco, E.</i> ...	1089 y 1747
<i>Fábregas, R.</i> 951, 1277, 2065 y	2073
<i>Felipó, M. T.</i>	595 y 603
<i>Fernández, F. G.</i> 1291, 1339 y	1827
<i>Fernández Bermejo, C.</i>	763
<i>Fernández Caldas, E.</i> 487, 841,	981, 1121, 1165, 1199, 1209
1221, 1749, 1573, 1591, 1625,	1641, 1889 y
	1945
<i>Fortún, S.</i>	1399
<i>Gallardo, J.</i>	47 y 83
<i>Gallardo, J. F.</i>	1693 y 1747
<i>Gaitán, P. M.</i>	1177
<i>García, A.</i>	465
<i>García Criado, B.</i>	309 y 967
<i>García García, J. Efigenio</i> ...	2181
<i>García González, M. T.</i> 7, 23,	414, 431 y
	505
<i>García de Leaniz, J.</i>	917
<i>García Ramos, G.</i> ... 555, 779 y	795
<i>García R. M. J.</i>	1389
<i>García-Ruiz, J. M.</i>	2257
<i>García Vicente, J.</i> 7, 23, 414,	431 y
	505
<i>Gil, F.</i>	643
<i>Gómez, J.</i>	1365 y 1371
<i>Gómez, M.</i> 197, 267, 1013,	1747 y
	1803
<i>Gómez Amorós, F.</i>	631
<i>Gómez Gutiérrez, J. M.</i> 309, 957	y
	967
<i>Gómez Ortega, M.</i>	1839 y 1855
<i>González, M. I. N.</i>	1693
<i>González, B. F.</i>	2207
<i>González García, F.</i> 555, 779, 795	y
	917
<i>González García, S.</i>	99 y 2017
<i>González O., C.</i>	1427 y 2141
<i>González Ponce, R.</i>	939 y 945
<i>González-Vila, F. J.</i>	157
<i>Guadilla, D.</i>	643
<i>Guillén, M. G.</i>	1827
<i>Guerra Delgado, A.</i> 387, 1165 y	1889
<i>Guerrero, R.</i>	173 y 187
<i>Gutiérrez Jerez, F.</i> 841, 981,	1199, 1209, 1221 y
	1479

PÁGINAS

<i>Hernández, J.</i>	1495
<i>Hernández, T.</i>	613 y 621
<i>Hernández Moreno, J. M.</i> 1573 y	1591
<i>Hernando, V.</i> 301, 349, 675,	1785 y
	1225
<i>Hernando Costa, J.</i>	751
<i>Hernansáez, A.</i> ... 1031, 1311 y	1720
<i>Hoyos de Castro, A.</i>	751 y 763
<i>Huertas, F.</i>	1555
<i>Iñiguez Herrero, J.</i>	851
<i>Jacquin, F.</i>	1699
<i>Jiménez, M. Soledad,</i> ... 2159 y	2169
<i>Jiménez Ballesta, R.</i>	1663
<i>Kosche P., R.</i>	1427 y 2141
<i>Lachica, M.</i>	1427, 1803 y 2141
<i>Laencina S., J.</i>	1357
<i>Lax, A.</i>	631
<i>Leal, A.</i>	991 y 1013
<i>Ledesma, M.</i>	83
<i>Legarda, L.</i>	1325
<i>Linares, J.</i>	1543, 1555 y 2039
<i>Liñán Benjmea, J.</i>	1089
<i>López G., J. D.</i>	1177
<i>Lozano Calle, J. M.</i>	871
<i>Lluch, C.</i>	197
<i>Llorente, S.</i>	1815
<i>Mangas Martín</i>	689 y 927
<i>Mariño, M.</i>	1377
<i>Martín Aranda, J.</i> ... 575, 881 y	899
<i>Martí-Bono, C. E.</i>	2257
<i>Martín Martínez, F.</i>	137
<i>Martín Patino, M. T.</i>	2047
<i>Martínez, A. T.</i>	159
<i>Martínez Carrasco, R.</i>	2195
<i>Martínez F., M. R.</i> ... 1291 y	1339
<i>Mato, M. C.</i>	1099
<i>Mazuelos Vela, C.</i>	535 y 1089
<i>Medina, J. A.</i>	2047
<i>Medina Carnicer, M.</i> ... 821 y	1139
<i>Mejía, L.</i>	67
<i>Merino, J.</i>	1867
<i>Merino, O.</i>	1867
<i>Misra, S. G.</i>	167

	PÁGINAS
<i>Morales, C.</i>	245 y 257
<i>Morales, V.</i>	1311
<i>Moreno, F.</i>	899
<i>Moreno Alvarez, J. L.</i>	387 y 1533
<i>Morey, M.</i>	2225
<i>Mudarra, J. L.</i>	1725
<i>Murillo Carpio, J. M.</i>	521 y 535
<i>Najady, M. H.</i>	1237 y 1247
<i>Nicolás, J. P. de</i>	2207
<i>Noguera, J.</i>	1301 y 1311
<i>Olivares, J.</i>	197 y 1457
<i>Olmedo, J. L. de</i>	67, 827 y 863
<i>Ordás, A.</i>	1079
<i>Orihuel Gasque, B.</i>	349, 675, 1785 y 2225
<i>Ortega, C.</i>	1399
<i>Ortiz, R.</i>	1973
<i>Ortuño, A.</i> 1031, 1301, 1311, 1351, 1357, 1365, 1371 y	1720
<i>Palomar G.^a Villamil, M.^a L.</i>	751 y 763
<i>Paneque Guerrero, G.</i>	821, 1139 y 1467
<i>Parra, M.^a</i>	1031 y 1351
<i>Paz, A.</i>	1151, 1675 y 1983
<i>Peinemann, N.</i>	703
<i>Pérez M., J. A.</i>	1199, 1209 y 1221
<i>Pérez Melero, M.</i>	1663
<i>Pérez Méndez, A.</i>	841, 981 y 1749
<i>Pérez Rodríguez, J. L.</i>	555, 779, 795 y 894
<i>Pinilla, A.</i>	447 y 1951
<i>Pinilla Barrau, J. A.</i>	917
<i>Piñol, M.^a T.</i>	245, 257 y 667
<i>Polo, A.</i>	1399 y 2001
<i>Poyato Ferrera, J.</i>	555, 770 y 795
<i>Prieto Alcántara, J.</i>	1089
<i>Puerto Martín, A.</i>	957
<i>Ramírez, C.</i>	159
<i>Ramos del Arco, M. L.</i>	2083
<i>Recalde, L.</i> 267, 283, 991, 1013 2105 y	2115
<i>Rocalde Manrique, L.</i> 1839, 1855, 2105 y	2115

	PÁGINAS
<i>Reverte, L.</i>	613 y 621
<i>Reverte, P.</i>	613 y 621
<i>Río, L. A. del</i>	1803
<i>Rodríguez Hernández, C. M.</i>	487
<i>Rodríguez Martínez, Julio</i>	3
<i>Rodríguez Pascual, C.</i>	487
<i>Rodríguez Rodríguez, A.</i>	1121, 1607, 1625 y 1945
<i>Romero, M.</i>	1291 y 1339
<i>Romero Díaz, R.</i>	863
<i>Romo, F.</i>	1325
<i>Romojaro, F.</i>	1815
<i>Rosa, D. de la</i>	1421, 1725 y 2027
<i>Ruiz Amil, A.</i>	2055
<i>Sagardoy, M. A.</i>	1317 y 1735
<i>Sánchez, B.</i>	1039 y 1059
<i>Sánchez Cõnde, P.</i>	207
<i>Sánchez D., J.</i>	1165 y 1889
<i>Sánchez de la Puente, L.</i>	689, 927 y 2195
<i>Sanchidrián, J. R.</i>	1377
<i>Serrano, M.</i>	667
<i>Sierra, C.</i>	1261
<i>Tejedor, M. L.</i> 1121, 1573, 1591, 1607, 1625, 1641 y	1945
<i>Torres, C.</i>	173 y 187
<i>Torres, M.</i>	301
<i>Torres Sánchez, R. M.</i>	589
<i>Trujillo Jacinto del Castillo, I.</i>	981, 1199 y 1209
<i>Tschapek, M.</i>	589
<i>Valdés Amado, A.</i>	309 y 967
<i>Valenzuela C., C.</i>	1177
<i>Velasco de Pedro, F.</i>	871
<i>Verdonck, O.</i>	595 y 603
<i>Vicente, M. A.</i>	83
<i>Vieitez, E.</i>	951, 1277, 2065 y 2075
<i>Villota, M.</i>	1325
<i>Viton Barbolla, C.</i>	2055
<i>Vivancos Gallego, G.</i>	147
<i>Viscayno Muñoz, C.</i> 7, 23, 414, 431, 447, 505, 1663 y	1951
<i>Wasowski, C.</i>	589
<i>Yañez, J.</i>	1803



AGROBIOLOGIA

Y AGRICULTURA
CENTRAL

Revista de Biología Agrícola y

Forestal

Vol. 1, No. 1

1950

Editorial

de la Facultad de Ciencias

de la Universidad Nacional

de Tucumán

Argentina

Director: D. Enrique

Alonso

Editor: D. Enrique

Alonso

Editorial

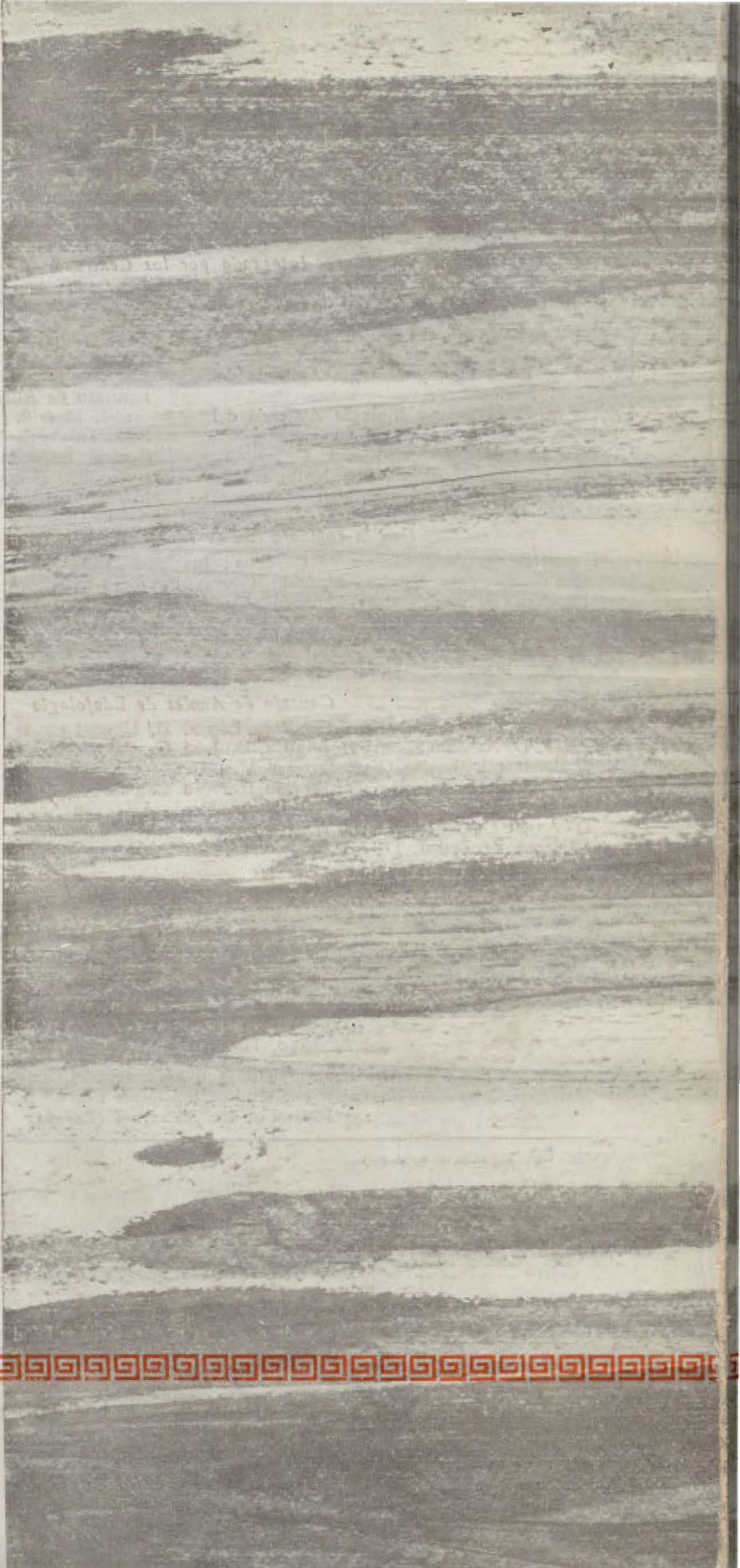
de la Facultad de Ciencias

de la Universidad Nacional

de Tucumán

Argentina

CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS
ANALES DE EDAFOLOGÍA Y AGROBIOLOGÍA



Tommo XXVIII. Núms. 1 - 2

ANALISIS DE ED FOLIOLOGIA

Y AGRICULTURA

Enero - Febrero 1979