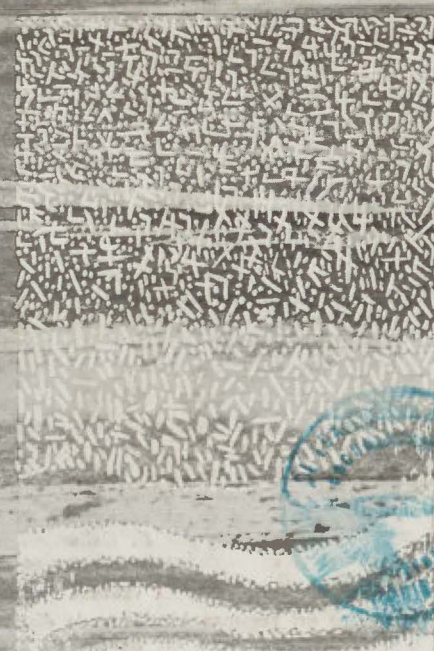




ANALES DE EDAFOLOGIA Y AGROBIOLOGIA



CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTIFICAS

Anal. Edaf. Tomo XXXVIII. Núms. 9-10 Págs. 1457-1886

Madrid, Septiembre-Octubre 1979

	<u>Páginas</u>
La fijación biológica de nitrógeno. Importancia y perspectivas, por <i>J. Olivares, E. J. Bedmar y J. Casadesús</i>	1457
SUELOS	
Estudio micromorfológico de la alteración de rocas metamórficas y edafogénesis en la Sierra de Francia (Salamanca), por <i>C. Espino y G. Panque</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. Añás 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. Añás 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 Peracho y J. L. Moreno Alvarez</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 <i>E. Fernández Caldas, M. L. Tejedor Salguero y J. M. Hernández Moreno</i>	1591
Suelos fersialíticos sobre cenizas volcánicas. I. Características morfológicas y fisicoquímicas, por <i>A. Rodríguez Rodríguez, M. L. Tejedor Salguero y E. Fernández Caldas</i>	1607
Suelos fersialíticos sobre cenizas volcánicas. II. Características mineralógicas, por <i>A. Rodríguez Rodríguez, M. L. Tejedor Salguero y E. Fernández Caldas</i>	1625
Suelos fersialíticos sobre lapillis basálticos. I. Características morfológicas fisicoquímicas y mineralógicas, por <i>A. Rodríguez Rodríguez, P. Quantín, M. L. Tejedor Salguero y E. Fernández Caldas</i>	1641
Aproximación a un mejor conocimiento edáfico de las zonas de contacto Paleozoico-Mioceno de los Montes Islas (Toledo), por <i>R. Jiménez Ballesta, C. Vizcaíno Muñoz y M. Pérez Melero</i>	1663
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 <i>Rosa M.^a Calvo de Anta, A. Paz González y F. Díaz-Fierros Viqueira</i>	1675
Notas sobre técnicas de investigación de sustancias húmicas. III. Fraccionamiento de sustancias húmicas mediante adsorción sobre resina Amberlite XAD-8, por <i>J. F. Gallardo y M. I. M. González</i>	1693
Biodegradation and humification of organic matter in humiferous Atlantic soils. I. Biodegradation, by <i>M. Carballas, T. Carballas and F. Jacquin</i>	1699
Influencia de la acción metabólica de microorganismos edáficos sobre coloides inorgánicos del suelo, por <i>A. Hernausés, A. Ortuño y J. Albaladejo</i>	1720
FERTILIDAD DE SUELOS	
La utilización de índices de productividad para pronosticar la aptitud relativa de los suelos, por <i>D. de la Rosa y J. L. Mudarra</i>	1725
Microbiología de un suelo cultivado con la secuencia trigo-barbecho-trigo, por <i>M. A. Sagardoy</i>	1735
Poder fertilizante de un «compost» de basura urbana. I. Capacidad de suministro de macronutrientes, por <i>F. Gallardo-Lara, M. Azcón, M. Gómez y E. Esteban</i>	1747
Nematodos encontrados en los suelos de la provincia de Toledo, por <i>A. Bello</i>	1765
NUTRICIÓN Y FISIOLÓGIA VEGETAL	
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 <i>V. Hernando y B. Orihuel Gasque</i>	1785
Estudio de la distribución dinámica de micronutrientes en plantas de guisante, por <i>J. Yáñez, L. A. del Río, M. Lachica y M. Gómez</i>	1803
Aspectos físicos y químicos del crecimiento y maduración en variedades de ciruela de interés en la región murciana, por <i>F. Romojaro, E. Banet y S. Llorente</i>	1815
Germinación, desarrollo vegetativo y composición mineral del guisante (<i>Pisum sativum</i>) en condiciones salinas, por <i>A. Cerda, M. Caro, F. G. Fernández y M. G. Guillén</i>	1827



LA FIJACION BIOLOGICA DE NITROGENO. IMPORTANCIA Y PERSPECTIVAS

por

J. OLIVARES, E. J. BEDMAR y J. CASADESÚS

«Science produces knowledge, which becomes the source of technology. Technology in turn is being used for social and political goals. But the society that uses technology is not a rational society. Its goals are not chosen rationally, in a way that would bring about the maximum satisfaction of human needs and desires. Hence most uses of scientific technology fail to benefit mankind. At best, they satisfy some short-range demand; at worst, they serve the profit of power motives of ruling groups...

... The need is not for alternatives to science, but for a science of man and of its society, a science of human technology, and a rational approach to human values» (15).

PROBLEMÁTICA ACTUAL

La capacidad de la humanidad para alimentarse decrece rápidamente. La superpoblación —especialmente grave en ciertas regiones, que además suelen ser las menos desarrolladas—, la crisis de energía y la degradación ecológica contribuyen a esperar para el año 2000 una situación difícil, de acuerdo con las apreciaciones de diferentes expertos. Los informes del Club de Roma (16, 18) no pueden ser más claros en este sentido.

El hombre se enfrenta inerte al incremento de la población y de la industrialización, al deterioro del medio ambiente y al agotamiento de los recursos no renovables. Estos elementos, unidos a las limitaciones en la producción de alimentos, constituyen una grave problemática que la Humanidad debe afrontar en breve plazo. Su superación aparece cada vez más difícil y exige el trabajo y colaboración de los expertos que pueden contribuir, en los distintos campos, a aportar soluciones parciales que, en conjunto, permitan mirar al futuro con mayor esperanza.

El hambre que atenaza a las 2/3 partes de la población mundial es una de las manifestaciones de esta problemática principalmente derivada hoy día, de la triple interrelación población-producción de alimentos-crisis energética. El rápido crecimiento de la población coincide con el

consumo exponencial de las fuentes de energía. El incremento de la producción agrícola ha ido parejo a un aprovechamiento progresivo de los combustibles fósiles utilizados en la fabricación de fertilizantes y pesticidas, prácticas agrícolas y manejo y distribución de los alimentos obtenidos.

Desgraciadamente, el déficit de alimentos no es causado solamente por la falta de producción, sino por su mala distribución entre los hombres y países de la Tierra. Mesarovic y Pestel (18) afirman que la prosperidad compite con el hambre por la disponibilidad de alimentos. No sólo se requieren más alimentos sino que éstos sean de mejor calidad, por lo que la capacidad de uso del suelo se ve limitada por cultivos cuyos productos sólo llegan a una minoría y precisamente la de más altas posibilidades económicas.

La solución de la crisis mundial de alimentos no es, como en el pasado, una cuestión meramente relacionada con la Agronomía. Depende en grado extremo del trabajo de biólogos, ecólogos, edafólogos, físicos, químicos, economistas, sociólogos, etc., que aporten los conocimientos necesarios para conseguir incrementar la producción de alimentos y que dicha producción alcance la cantidad y calidad requeridas.

La disponibilidad de alimentos puede elevarse por ampliación de la superficie de la tierra cultivada, incremento del rendimiento por unidad de suelo, aumento en la producción de animales marinos y por el desarrollo de los alimentos sintéticos.

Estudios recientes han cifrado en 3.200 millones las hectáreas de suelo potencialmente aprovechables; de ellas se utilizan aproximadamente la mitad. De acuerdo con la FAO, la puesta en cultivo de la otra mitad, aparte de exigir inmensos gastos para hacerla productiva, no será rentable económicamente.

Ante tal perspectiva, y teniendo en cuenta los problemáticos resultados de las otras dos soluciones, el incremento del rendimiento por unidad de superficie es la única alternativa que, por el momento, puede contribuir a solucionar el problema alimentario, y así aparece en el informe de la FAO de 1974.

Sin embargo, esta posibilidad depende de la puesta en práctica de una tecnología poco asequible para los países menos desarrollados y podría, además, llevar consigo grandes riesgos ecológicos.

Entre los factores que pueden contribuir a unos mejores rendimientos de las cosechas, es fundamental el uso de mayores cantidades de fertilizantes nitrogenados. Sin embargo, en la actual crisis energética, la progresiva carestía de estos productos, por el alto consumo de energía del proceso de fabricación, obliga a buscar una alternativa que permita responder a la demanda de alimentos.

El aumento progresivo de la población, de 6 a 7×10^9 habitantes para el año 2000, si no se impone un control racional del crecimiento, y la relación población-hábitos alimenticios originan la necesidad de incrementar continuamente el uso de nitrógeno fijado. No sólo se ha tendido a elevar el número de calorías de la dieta, sino también, a hacerla más equilibrada, con una mayor proporción de proteínas. Pero si en principio las proteínas vegetales eran utilizadas directamente, el consumo de éstas ha decrecido en beneficio de las de origen animal. Es decir, se exigen más proteínas y de mejor calidad. No hay que olvidar que una unidad

de proteína animal requiere alrededor de diez veces más consumo de nitrógeno que una unidad de proteína vegetal, por lo que la dependencia de este nutriente se hace más dramática.

Esta proteína de buena calidad sólo llega a los estamentos de mayor renta per cápita, mientras que el resto, la inmensa mayoría, se alimenta de proteína vegetal, principalmente de cereales. Estos proporcionan por sí solos, a pesar de su bajo contenido, más del 50 por 100 de la proteína producida. Los huevos, leche, pescado y carne suponen el 30 por 100 de las proteínas de la dieta humana. Esta proporción es aún menor en los países subdesarrollados. El resto procede de las leguminosas, semillas oleaginosas y tubérculos. Otras fuentes de proteína, como la SCP, apenas inciden en este reparto porcentual, aunque al ritmo con que se trabaja en este campo, cabe esperar buenos resultados en un futuro próximo. Las levaduras, las algas, principalmente las fijadoras de nitrógeno, y otros microorganismos, son intensamente estudiados con este fin.

Durante los veinticinco últimos años se ha doblado la producción de cereales con sólo un 10 por 100 de incremento de la superficie cultivada. De todos los factores que han intervenido en tal crecimiento, el uso de nitrógeno inorgánico ha sido probablemente la causa más importante. Como ejemplo basta señalar que los 8 Kg/Ha que se utilizaban en el cultivo de maíz en USA, en 1945, pasaron a 125 en 1970.

Los resultados esperados de la llamada revolución verde han exigido unos costes sólo permitidos a los países desarrollados, que de esta forma se han beneficiado de una acción inicialmente pensada para el tercer mundo. En 1974 el consumo per cápita de fertilizantes era en los países menos desarrollados de 6,6 Kg/año frente a los 58,2 de USA. De todos modos, en las circunstancias actuales, incluso los países ricos se ven con dificultades para el empleo intensivo de la fertilización nitrogenada. Según los datos de la FAO para el año agrícola 1978/79, el costo energético de los fertilizantes en la producción de alimentos representó el 48 por 100 de los diferentes gastos que inciden en la producción agraria y de este porcentaje los nitrogenados suponen la mayor parte.

Sin tener en cuenta que la aplicación de nitrógeno posee una eficiencia relativamente baja, ya que la mitad del añadido al suelo se pierde por desnitrificación y lavado, la crisis de energía y el deterioro del ambiente imponen serios obstáculos a una utilización ilimitada.

Antes del aprovechamiento de los nitratos minerales de los depósitos de Chile, el nitrógeno utilizado para la producción de alimentos provenía del reciclado de los residuos orgánicos. Con el aumento del consumo, las reservas minerales y las disponibilidades de materia orgánica disminuyeron y la necesidad de encontrar nuevas fuentes de nitrógeno asimilable se hizo apremiante. El desarrollo del procedimiento Haber-Bosch, que convierte el nitrógeno en amoníaco en condiciones de alta temperatura y presión, y su aplicación a la producción de fertilizantes permitía abrigar esperanzas de contar con una provisión de energía prácticamente ilimitada. Sin embargo, el precio alcanzado últimamente por el petróleo y el gas natural, fuentes de materia prima y energía para la síntesis de amoníaco, ha hecho que la oferta de nitrógeno sea cara y escasa, de forma que dentro de pocos años no se podrá cubrir ni un pequeño porcentaje de las necesidades. Hay que tener en cuenta,

además, que la producción de fertilizantes nitrogenados consume cuatro veces más energía que la de los fosforados y potásicos.

En 1972 la energía consumida en la industria de los fertilizantes equivalía a unos 2 millones de barriles de petróleo por día (24). De 1954 a 1974 la utilización de fertilizantes en conjunto se incrementó 5 veces y la de los nitrogenados se multiplicó por 8, al pasar de 5,2 a 40×10^6 toneladas. Este ritmo de consumo es insostenible, teniendo en cuenta el progresivo incremento del precio de los crudos. Además hay que añadir los gastos derivados de la distribución. De esta forma alrededor de 1,5 Kg de petróleo son necesarios para producir y suministrar al agricultor 1 Kg de fertilizante nitrogenado (19).

Existe la necesidad imperiosa de aumentar la productividad, pero el uso de abonos químicos, además de caro, puede resultar peligroso. La aplicación exhaustiva de fertilizantes nitrogenados presenta graves problemas ecológicos derivados de la eutrofización de las aguas y el aumento de nitratos en el agua potable. Se pueden añadir otros problemas. Hay evidencia cierta de la aparición de nitrosaminas en el ambiente, derivadas del ciclo del nitrógeno. Estas sustancias son potencialmente carcinogénicas. Otro compuesto, el NO_2 , subproducto de la desnitrificación microbiana, puede manifestar un efecto destructivo de la capa de ozono de la atmósfera.

LA FIJACIÓN BIOLÓGICA DE NITRÓGENO

En las circunstancias de hoy día y ante tales supuestos, la creciente atención dedicada a la fijación biológica de nitrógeno se halla más que justificada. Dicha atención ha crecido de forma espectacular en la última década y es previsible se incremente aún más, dada su transcendencia socio-económica y el apoyo de Ciencias como la Bioquímica, Fisiología y Genética que, con el desarrollo adquirido, permite una aplicación práctica de los conocimientos alcanzados a resolver los problemas presentados en los distintos aspectos de la fijación.

Hay que tener en cuenta que del total de nitrógeno atmosférico fijado (265×10^6 toneladas) aproximadamente 175×10^6 corresponde al fijado biológicamente. El resto se debe a la fijación puramente química o abiológica, bien de forma natural, por descargas eléctricas, combustión, ozonización, etc. (30×10^6) o artificial, por el proceso Haber-Bosch (60×10^6 para 1977) (5).

La cantidad de nitrógeno fijado biológicamente se puede considerar sustancialmente constante en los últimos veinticinco años, por lo que no ha contribuido de forma especial a incrementar la producción agrícola. En este hecho ha influido el que la amplia investigación desarrollada sobre los cereales, especialmente maíz y trigo, para la obtención de variedades más tolerantes con las condiciones edáficas o climáticas, más resistentes a las enfermedades, etc., no ha tenido paralelismo, por lo menos con la intensidad que hubiera sido necesaria, en el caso de las leguminosas, a las que se debe más de la mitad del nitrógeno fijado (13).

Cuando se adaptaron al cultivo las especies y variedades vegetales que consumimos hoy, no se tuvieron en cuenta nada más que su capacidad de aclimatación, disponibilidad, aceptación y, en consecuencia, su

rentabilidad. Otros factores como el contenido en proteína, vitaminas, poder calorífico, etc., no fueron considerados. Estas son las razones de que haya hoy cultivos universalmente extendidos (trigo, maíz, arroz, patata, etc.), mientras que otros, al fracasar en un nuevo ambiente, quedaron abandonados a áreas más restringidas. Así ha ocurrido, en parte, con las leguminosas a pesar de ser, después de las gramíneas, la segunda familia en importancia como fuente de alimentos (23).

Sin embargo, el porvenir agrícola de estas plantas parece claramente optimista. No en vano eran utilizadas hace más de veinte siglos en la cuenca mediterránea para restaurar o mantener la fertilidad de los suelos por la rotación de los cultivos, práctica basada hasta hace unos noventa años en meras observaciones empíricas.

En las circunstancias actuales, parece sensato prestar más atención a estas plantas, no sólo por su particular incidencia en alimentación humana o animal, por su alto contenido en proteínas, sino también, por su independencia de la fertilización nitrogenada habida cuenta de su capacidad para fijar nitrógeno molecular en simbiosis mutualística con *Rhizobium*.

La producción mundial de leguminosas grano, estimada ahora en unas 130×10^6 toneladas año debe de incrementarse durante las dos próximas décadas hasta llegar, por lo menos, a 500×10^6 toneladas a final de siglo (14), para poder suministrar proteína suficiente a las exigencias de la población del año 2000. Esto requerirá mucho más esfuerzo que en el caso de los cereales, cuya producción, como se ha indicado antes, se duplicó en los últimos veinticinco años con sólo un 10 por 100 de aumento de la superficie cultivada. La de leguminosas, en cambio, ha crecido sólo el 15 por 100, correspondiente al porcentaje de incremento del área en cultivo.

La complicada nutrición nitrogenada representa, unido a unos requerimientos mayores, uno de los «handicaps» del cultivo de las leguminosas. El rendimiento de la conversión de la energía solar, que para el maíz es del 0,3 al 0,4 por 100, baja al 0,1-0,2 por 100 en el caso de la soja, la leguminosa mejor estudiada y en la que más progresos se han conseguido (14). Esta planta, y las otras leguminosas, no responde en su rendimiento de cosecha a la adición de fertilizante nitrogenado como lo hacen los cereales. El establecimiento de la simbiosis con *Rhizobium* es una de las causas determinantes de tal comportamiento. Estas plantas nunca se pueden estudiar, en sus diferentes aspectos, sin tener en cuenta la íntima asociación establecida con la bacteria de la que depende, en una parte importante, el suministro de la enorme cantidad de nitrógeno que requieren.

Pero no solamente hay que considerar el caso de la simbiosis *Rhizobium*-leguminosa, aunque juegue un papel preponderante en el aporte de nitrógeno a la biosfera (de 100 a 600 Kg/Ha/año). Otros sistemas, más o menos complicados, contribuyen en forma mayor o menor a incrementar la cantidad de nitrógeno fijado.

La explotación del potencial total de la fijación biológica de nitrógeno ha sido lenta a causa de la existencia de fertilizante mineral abundante y barato. Ahora la situación es diferente, cuando los fertilizantes nitrogenados son caros y escasos. Se impone, por tanto, la explotación intensiva de la fijación de nitrógeno en la práctica agronómica.

La enzima que interviene en la reducción del nitrógeno a amonio, nitrogenasa, si bien distinta en sus dos componentes (ferromolibdoproteína y ferroproteína) para cada organismo fijador, es análoga en cuanto a sus propiedades. Aunque bastante extendida entre distintos grupos microbianos, su presencia se reduce exclusivamente a procariotas. La puesta a punto de la simple y sensible técnica de la reducción de acetileno a etileno (12) para la detección de la fijación, está permitiendo conocer la amplia extensión de esta característica entre una gran variedad de microorganismos, desde los fijadores en vida libre, hasta los que lo hacen en asociación más o menos íntima, con las plantas superiores.

La importancia relativa de cada microorganismo o grupo de ellos, en cuanto a la fijación de nitrógeno se refiere, depende de la provisión de sustrato orgánico utilizable que, en casi todos los casos, ha de ser fuente de energía, de poder reductor y de esqueleto carbonado para la incorporación del amonio que resulta de la fijación. Sólo en los fijadores fotosintéticos tal dependencia es más reducida al poder utilizar directamente la energía luminosa. Cuando se trata de microorganismos aerobios, éstos han de desarrollar una estructura apropiada para proteger la nitrogenasa del oxígeno liberado.

Esta sensibilidad de la enzima al oxígeno, que no sólo la inactiva, sino que inhibe su síntesis, determina en cada tipo de microorganismo fijador aerobio una estructura o mecanismo adecuado de protección.

En cianobacterias, la enzima se encuentra en lugares separados, heteroquistes, donde sólo está presente el fotosistema I, por lo que hay provisión de energía en ausencia de oxígeno. En *Azotobacter* y afines, la protección se deriva de una baja difusión de este elemento, debido a la barrera impuesta por una capa mucosa de relativa importancia, y a la intensa actividad respiratoria, que produce una especie de «anaerobiosis funcional».

En el caso de *Rhizobium*, la existencia de leghemoglobina en los nódulos rodeando los bacteroides, permite el paso de la cantidad de oxígeno necesaria para la fijación, pero a nivel suficientemente bajo para evitar que la nitrogenasa se inactive y que la transcripción de los genes *nif* (de nitrogen fixation) sea inhibida.

La síntesis de la leghemoglobina es precisamente uno de los aspectos donde la simbiosis *Rhizobium*-leguminosa se presenta como una asociación íntima entre bacteria y planta, ya que la información para la globina se encuentra en la dotación genética de la planta, mientras que la correspondiente al grupo hemo se halla en el genomio bacteriano (7). Hasta 1975 se pensaba que esta implicación genética iba más allá y no podía haber fijación *ex planta*. Distintos experimentos, utilizando cultivos de tejidos de leguminosas de otras plantas, como el tabaco, y posteriormente, en ausencia de células vegetales, utilizando medios sintéticos no demasiado complicados (ver ref. 3), se comprobó que *Rhizobium* fijaba nitrógeno en vida libre. Ello indica que estas bacterias poseían la información genética (genes *nif*) correspondiente. Estos hallazgos no hacían nada más que confirmar lo que se esperaba después de los experimentos de conjugación entre *Rhizobium* y *Klebsiella aerobacter* realizados un año antes (10). Dada la ausencia de leghemoglobina, la fijación libre sólo ocurre si la pO_2 se encuentra a

niveles suficientes, pero bajos, para que no haya inactivación de la nitrogenasa.

De todas formas, en la asociación bacteria-planta, *Rhizobium* muestra su óptima expresión como organismo fijador. Como la simbiosis es el resultado de la interacción de dos organismos implicados, constituye un material difícil y complejo para la investigación de sus distintos aspectos. Por esta razón, los conocimientos sobre las bases bioquímicas y genéticas de la fijación se han obtenido principalmente en fijadores libres, aunque tengan menor interés desde el punto de vista agrícola, ya que su actividad depende de la presencia en el medio de materia orgánica asimilable en cantidad suficiente. Téngase en cuenta que, en la práctica, las leguminosas utilizan de 10 a 17 g de hidrato de carbono para la fijación de 1 g de nitrógeno. Esta proporción es bastante más baja en *Azotobacter*, que reduce 1 g de nitrógeno por 100 g de hidrato de carbono metabolizado, nivel que difícilmente se encuentra en el suelo.

Por otra parte, para que el nitrógeno incorporado por los fijadores libres pueda llegar a las plantas ha de producirse una cadena de sucesos (lisis celular, transformaciones químicas con intervención de varios grupos microbianos, etc.) en el curso de los cuales puede haber pérdidas importantes por inmovilización, fijación o desnitrificación.

El nitrógeno es fijado en la medida en que se necesita y sólo si no hay otra fuente disponible. Por un complicado, pero eficaz mecanismo de control, la nitrogenasa no es sintetizada si hay amonio presente, lo que impide el despilfarro de energía, factor limitante en la biosfera y por la que compiten todos los seres de la tierra.

Sólo la energía solar puede permitir que la fijación por la simbiosis *Rhizobium*-leguminosa sea independiente de la presencia de materia orgánica en el suelo. La fotosíntesis suministra no sólo la energía requerida para la fijación (proceso muy costoso: aproximadamente 24 moléculas de ATP por molécula de nitrógeno fijado), sino el poder reductor necesario y el esqueleto carbonado donde ha de incorporarse el amonio, primer compuesto estable resultante de la reducción del nitrógeno.

En *Rhizobium*, al contrario que en los otros fijadores, el amonio formado es exportado fuera de la célula bacteriana, y utilizado directamente por la planta. En el bacteroide, célula bacteriana modificada donde ocurre la fijación, que se encuentra ocupando en gran número las células del nódulo radical (24.000 a 36.000 en el caso de la soja) (11), se da un mecanismo de control de la fijación ligeramente distinto al que ocurre en los fijadores libres. Se comporta como una célula desreprimida que fija nitrógeno independientemente de la cantidad de amonio o nitrógeno fijado que haya en el medio.

Cuando estas bacterias fijan nitrógeno fuera de la planta su comportamiento es similar a los fijadores libres, pero las condiciones que impone el hospedador, una de cuyas manifestaciones es la inducción de la transformación de las bacterias normales en bacteroides, determina el mejor rendimiento de la fijación y es reflejo de la extremada complicación de este sistema a la hora de ser estudiado.

En los fijadores libres, y especialmente en *Klebsiella pneumoniae*, la investigación bioquímica y genética ha avanzado considerablemente,

y ha permitido aplicar muchos de los conocimientos a *Rhizobium* (ver ref. 6).

En general toda la investigación que se realiza, aparte de su valor puramente científico, presenta el interés de la posible aplicación a un mejor aprovechamiento de la fijación biológica de nitrógeno para superar las duras condiciones económicas que se avecinan.

Es importante no olvidar el sistema no leguminosa-Actinomiceto, de gran importancia forestal, ni las Cianobacterias (algas verde-azuladas), abundantes en el Artico y áreas tropicales, que podrían llegar a ser una importante fuente de abono orgánico. Algunas de las simbiosis establecidas con la intervención de estos últimos organismos, como *Azolla-Anabaena*, están recibiendo una atención especial. *Azolla* es una pequeña planta que flota en el agua y que en asociación con *Anabaena* es capaz de suministrar hasta 50 Kg de nitrógeno/Ha a los cultivos de arroz donde se desarrolla (4).

Algunas relaciones entre bacterias fijadoras y plantas son menos sofisticadas que las que ocurren entre *Rhizobium* y leguminosas. Se trata de microorganismos que no originan estructuras especiales en las raíces, se desarrollan íntegramente en la rizosfera o a lo sumo penetran un poco en la raíz y permanecen en la lámina media de las células del córtex donde fijan nitrógeno. Aunque el hallazgo se hizo en Brasil (8, 9), es un fenómeno bastante extendido. La asociación *Paspalum notatum-Azotobacter paspali* y *Digitaria decumbens - Azospirillum brasiliense* presentan un futuro interesante con vistas a su extensión a cultivos de importancia económica (1, 2). La actividad fijadora de estos microorganismos depende de los niveles de exudación radical y, por tanto, de la eficiencia de la fotosíntesis y de la obtención de variedades de plantas que liberen mayores cantidades de fotosintato.

L I M I T A C I O N E S

En las actuales circunstancias, el nivel de fijación de nitrógeno por las leguminosas parece difícil de incrementar debido a la existencia de factores limitantes. Aparte del efecto de la presencia de nitrógeno combinado en el suelo, hay que considerar la disponibilidad de fotosintato (13) y la ausencia, en la mayor parte de las especies y razas de *Rhizobium*, de una actividad hidrogenasa alta que impida la pérdida de energía que supone el hidrógeno liberado durante el proceso de fijación en la mayoría de las asociaciones *Rhizobium*-leguminosa establecidas (22).

Los conocimientos y experiencia conseguidos en Bioquímica y Genética permiten acercarse con esperanza a los objetivos obsesivamente buscados, que en esencia son dos: una mayor eficiencia de la fijación, de la que se derivaría un rendimiento más alto en las cosechas, y la extensión de la capacidad fijadora a otras plantas y, esencialmente, a los cereales de mayor importancia: trigo, maíz, etc.

La investigación bioquímica para lograr que un mayor aporte de fotosintato llegue a los puntos de fijación, el trabajo de los genetistas de plantas para obtener y seleccionar variedades que consigan el máximo aprovechamiento de la luz y una mayor susceptibilidad a la infección, y el de agrónomos, que desarrollen prácticas de cultivo que favorezcan también tal aprovechamiento, puede hacernos esperar que se alcancen

niveles de fijación superiores a los actuales. Se ha logrado aumentarlos incrementando la concentración de CO_2 en la atmósfera por inhibición de la fotorrespiración, actividad que supone una pérdida considerable del fotosintato disponible, tan importante en las plantas C_3 y especialmente cuando crecen en ambientes cálidos (13). Como dato optimista cabe esperar, de acuerdo con algunos ecologistas, que si se continúa al mismo ritmo la utilización de los productos energéticos fósiles, la concentración de CO_2 en el aire aumente para el año 2000 a un nivel tal que la fotorrespiración podría reducirse a la mitad en los países templados, significando un incremento de cosecha en los más cálidos del 30 al 50 por 100 (25).

P E R S P E C T I V A S

La extensión de la capacidad de establecer una asociación eficiente entre *Rhizobium* y las raíces de plantas no leguminosas, cereales en primer lugar, aunque difícilmente asequible, es teóricamente posible. El desarrollo de la hibridación somática abre grandes posibilidades. De esta forma podrían obtenerse híbridos susceptibles a ser infectados por *Rhizobium* y capaces de llegar al establecimiento de la simbiosis mutualística con esta bacteria. Este trabajo se vería premiado por un incremento en el rendimiento en las cosechas, ahora difícilmente imaginable.

La transmisión eficiente de la capacidad fijadora de los organismos procarióticos a células vegetales, para que las plantas por sí mismas puedan fijar el nitrógeno que necesitan es una meta que todavía se ve lejana. Su desarrollo depende de la construcción, por medio de las técnicas de recombinación de ADN *in vitro*, de los vehículos genéticos adecuados para la introducción del operón *nif* en las células eucarióticas, de su integración, replicación y expresión eficiente. Este objetivo, que parece irreal, es, sin embargo, alcanzable, habiéndose logrado últimamente, avanzar algunos pasos al conseguir la integración de los genes *nif* (portadores de la información para la fijación de nitrógeno) en el ADN del virus del mosaico de la coliflor (17) o en el plásmido TI de la bacteria patógena de plantas *Agrobacterium tumefaciens*, que lleva la información responsable de la infectividad correspondiente. Este ADN que es capaz de transformar la célula vegetal (21) podría ser un excelente vehículo, una vez que se eliminara la información correspondiente a su patogenicidad.

El entusiasmo que pueda producir la posibilidad de introducir los genes *nif* en las plantas (o en otros eucariotas, como las micorrizas VA, de gran interés agronómico) no debe hacernos olvidar la realidad. La exclusión del oxígeno y la necesidad de una compleja regulación pueden ser problemas insalvables. Si la construcción de plantas que fijen nitrógeno sin bacterias fuera asunto fácil, es posible que la evolución hubiera dado ya tales biotipos, que poseerían inmensas ventajas selectivas. Por otro lado, al ser la fijación un proceso consumidor de energía y depender directamente de la fotosíntesis, se originarían plantas distintas de aquellas que son fertilizadas de forma normal y, posiblemente, con otras exigencias climáticas (20). El P, K, S, etc., llegarían a convertirse en factores limitantes y podrían presentarse deficiencias en Mo. Por el contrario, algunos de los aspectos negativos de la agricultura intensiva,

tales como la contaminación por nitratos, serían eliminados. La manipulación genética y somática, como otras clases de investigación, pueden suponer peligros biológicos, y de hecho ya se han constituido organismos a nivel nacional o internacional para controlar los experimentos.

De todos modos, en el contexto de la Agricultura, los modernos conocimientos genéticos, aplicados inteligentemente y con imaginación, parecen mostrar un saldo favorable de los beneficios sobre el riesgo, y, en cualquier caso, la gravedad de los problemas económicos, demográficos y ecológicos que la humanidad deberá afrontar en las próximas décadas, obliga a la búsqueda de soluciones audaces.

*Departamento de Microbiología.
Estación Experimental del Zaidín. C. S. I. C. Granada.*

BIBLIOGRAFÍA

- (1) ALBRECHT, S. L., OKON, Y. & BURRIS, R. H. (1977). *Plant Physiol.*, **60**, 528.
- (2) BARBER, L. E., TJEKEMA, J. D., RUSSELL, S. A. & EVANS, H. J. (1976). *Appl. Environ. Microbiol.*, **32**, 108.
- (3) BEDMAR, E. J. y OLIVARES, J. Fijación de nitrógeno por *Rhizobium* en vida libre. *Anal. Edaf. Agrobiol.* (En prensa.)
- (4) BRILL, W. J. (1979). *American Scientist.*, **67**, 458.
- (5) BURNS, R. C. & HARDY, R. W. F. (1975). *Nitrogen fixation in bacteria and higher plants*. Springer Verlag, N. Y.
- (6) CASADESÚS, J. y OLIVARES, J. (1978). *Anal. Edaf. Agrobiol.*, **37**, 915.
- (7) CUTTING, J. A. & SCHULMAN, H. M. (1971). *Biochim. Biophys. Acta*, **229**, 58.
- (8) DÖBEREINER, J. (1966). *Pesqui. Agropecu. Bras.*, **1**, 357.
- (9) DÖBEREINER, J. & DAY, J. M. (1974). En *Proceedings of I International Symposium on Nitrogen Fixation*. Eds. W. E. Newton y C. J. Nyman, Washington State University Press, Pullman, 518.
- (10) DUNICAN, L. K. & TIERNEY, A. B. (1974). *Biochem. Biophys. Res. Comm.*, **57**, 62.
- (11) GRESSHOFF, P. M. & ROLFE, B. G. (1978). *Planta*, **142**, 329.
- (12) HARDY, R. W. F., HOLSTEN, R. D., JACKSON, E. K. & BURNS, R. C. (1968). *Plant Physiol.*, **43**, 1185.
- (13) HARDY, R. W. F. & HAVELKA, V. D. (1975). *Science*, **188**, 633.
- (14) HARDY, R. W. F., HAVELKA, V. D. & QUEBEDEAUX, B. (1977). En *Proceedings of the 4th International Congress of Photosynthesis*. Eds. J. Cooms and D. Hall. The Biochemical Society, London, 655.
- (15) LURIA, S. E. (1971). En *Of microbes and life*. Eds. J. Monod and E. Borek, Columbia University Press, p. 58.
- (16) MEADOWS, D. H., MEADOWS, D. L., RANDERS, J. & BEHRENS III, W. W. (1972). *Los límites del crecimiento*. Fondo Cultural y Económico, Méjico.
- (17) MEAGHER, R. B. (1977). En *Genetic Engineering for Nitrogen Fixation*. Eds. A. Hollaender, R. H. Burris, P. R. Day, R. W. F. Hardy, D. R. Helinski, M. R. Lamborg, L. Owens y R. C. Valentine. Plenum Press, p. 129.
- (18) MESAROVIC, M. & PESTEL, E. (1974). *La Humanidad en la encrucijada*. Fondo Cultural y Económico. Méjico.
- (19) NUTMAN, P. S. (1976). *J. Agric. Soc.*, **86**.
- (20) POSTGATE, J. R. (1977). *Phil. Trans. R. Soc. Lond.*, **281**, 249.
- (21) SCHELL, J. & VAN MONTAGU, M. (1977). En *Genetic Engineering for Nitrogen Fixation*. Eds. A. Hollaender, R. H. Burris, P. K. Day, R. W. F. Hardy, D. R. Helinski, M. R. Lamborg, C. Owens & R. C. Valentine, **159**.
- (22) SCHUBERT, K. R. & EVANS, H. J. (1976). *Proc. Natl. Aca. Sci. U. S.*, **73**, 1207.
- (23) SINHA, S. K. (1978). *Las leguminosas alimenticias. Su distribución, capacidad de adaptación y biología de los rendimientos*. FAO.
- (24) SWEENEY, G. C. (1974). En *Proceedings of the I International Symposium on Nitrogen Fixation*. Eds. W. E. Newton y C. J. Nyman. Washington State University Press. Pullman, p. 648.
- (25) WHITTINGHAM, C. P. (1979). *Agron. Lusit.*, **39**, 115.

ESTUDIO MICROMORFOLOGICO DE LA ALTERACION DE ROCAS METAMORFICAS Y EDAFOGENESIS EN LA SIERRA DE FRANCIA (SALAMANCA)

p o r

C. ESPINO y G. PANEQUE

S U M M A R Y

MICROMORPHOLOGICAL STUDY OF METAMORPHIC ROCKS ALTERATION AND PEDOGENESIS IN SIERRA DE FRANCIA (SALAMANCA)

Geology, climate, vegetation and general characteristics and properties of four soil profiles developed on metamorphic rocks (slates and micaceous sandstone) are exposed. The general data and the micromorphological study are commented and discussed in order to know the processes of rocks alteration and pedogenesis.

I N T R O D U C C I Ó N

La Sierra de Francia es una zona de unas 86.800 Ha, situada en el sur de la provincia de Salamanca (Forteza et al., 1973).

Los *materiales geológicos* están formados por rocas ígneas, pizarras y cuarcitas, estas dos últimas en una amplia gama de variedades. En menor cantidad hay calizas, areniscas y conglomerados. La edad de estos materiales varía desde el Cámbrico al Ordovícico, Silúrico, Devónico (este dudoso), Plioceno y Cuaternario.

Las primeras estribaciones montañosas corresponden a la Sierra de las Quilamas, de cuarcitas, que forman el borde de un sinclinal. Otro sinclinal también de cuarcitas se encuentra en la Sierra de El Zarzoso. La masa granítica principal, que tiene un extremo en Linares de Riofrío, se prolonga por el NW entre Segueros y La Alberca, ocupando probablemente el núcleo de un anticlinal. A ambos lados de la masa granítica de La Alberca, donde se estrecha, existen gneis, en cantidades reducidas, y cornubianitas. El aspecto de éstas depende de la aureola metamórfica de que se trate. En el lado oriental de la Sierra de las Quilamas existe una corrida de calizas dolomíticas, a lo largo de unos 20 Km ininterrumpidamente. En el Zarzoso y Quilamas predominan las pizarras (Saavedra, 1970).

Las *condiciones climáticas* son poco uniformes en virtud del accidentado relieve. La temperatura media anual es de unos 14° C-15° C,

pero existe una marcada diferencia entre la vertiente norte de la sierra y las zonas montañosas interiores. También la pluviometría goza, en general, de esta ausencia de uniformidad. Los datos registrados van desde 2.098 mm de media anual a una altura de 1.000 m sobre el nivel del mar, a 646 mm observados a 800 m sobre el nivel del mar (Garmendía, 1964).

La *vegetación* hasta hace algún tiempo consistió en formaciones naturales de encinares, bardales, robledales, brezales, jarales, etc. En la actualidad la acción antropógena ha reducido considerablemente los espacios de bosque por viñedos, cultivo de fresa y olivares. También existen algunos líquenes epilíticos en los roquedos de las cumbres; y en riberas de arroyos y ríos hay chopos, olmos, fresnos y salix (Fernández Díez, 1974).

El presente trabajo se refiere al estudio micromorfológico de 4 perfiles de suelos desarrollados sobre rocas metamórficas, en orden a conocer los procesos de meteorización de las mismas y la formación de suelos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los perfiles objeto de estudio, correspondientes a distintos puntos de la Sierra de Francia, poseen las siguientes características:

a) *Datos del medio*

TABLE I

Perfil número	I	II	III	IV
Altura (m).....	1.100	620	1.200	620
Topografía	Llano	10 % (pend.)	15 % (pend.)	10 % (pend.)
Orientación.....	N. E.	S. W.	N. E.	S. W.
Drenaje.....	{ Interno Bueno { Externo..... Regular	Bueno	Bueno	Bueno
Tª (°C) Media anual	12,5	15,7	12	16
Vegetación	{ Roble { Helecho	Tomillo	Brezo	Jara
		Jara	Jara	Tomillo
	{ Carrasco { Escoba	Carrasco	Coníferas	Carrasco
		Escoba		

b) *Localización y descripción**Perfil I*

Localización: Arroyomuerto. En el kilómetro 65,5 de la carretera Tama-
mes-Sequeros.

Horiz.	Prof. (cm.)	Descripción
A ₀	0-3	Pardo rojizo oscuro 5 YR 3/3. Raíces abundantes, finas y gruesas.
A ₁	3-30	Pardo rojizo fuerte 5 YR 3/4. Franco. Grumoso. Colonizado por arácnidos y lombrices. Abundantes raíces. Película de arcilla recubriendo gravillas y raíces.
(B)	30-60	Rojo amarillento 5 YR 5/6. Franco. Subpoliédrico, poco estable. Numerosas raíces gruesas y finas.
B	60-85	Rojo 2,5 YR 4/6. Franco arcilloso. Subpoliédrico. Películas de arcilla recubriendo raíces y gravas de pizarra.
B/C ₁	85-95	Abigarrado: rojo 2,5 YR 4/6, pardo amarillento pálido 10 YR 6/4. Horizonte formado por pizarra metamórfica y el material del horizonte B.
R	> 95	Pizarra metamórfica.

Perfil II

Localización: Miranda del Castañar. 2 kilómetros al E del Municipio.

Horiz.	Prof. (cm.)	Descripción
A	0-25	Pardo rojizo 5 YR 4/4. Franco-arenoso. Grumoso. Abundantes raíces finas. Poco colonizado. Abundantes cantos de pizarra y cuarcitas.
(B)/C ₁	25-70	Pardo rojizo fuerte 5 YR 3/4. Franco-arenoso. Subpoliédrico. Raíces finas. Cantos de pizarra.
R	> 70	Pizarra metamórfica.

Perfil III

Localización: La Alberca. En el Portillo de las Batuecas.

Horiz.	Prof. (cm.)	Descripción
A ₀	0-10	Negro 10 YR 2/1. Franco-arenoso. Esponjoso. Enraizado. Colonizado por arácnidos. Abundantes cantos de cuarcita.
A ₁	10-40	Pardo rojizo fuerte 5 YR 3/2. Franco. Esponjoso. Muy enraizado. Cantos de cuarcita.
(B) ₁	40-60	Pardo amarillento claro 10 YR 6/4. Franco. Subpoliédrico, poco estable. Emigración de humus por las raíces. Cantos de cuarcita.
(B) ₂	> 60	Pardo fuerte 7,5 YR 5/8. Franco-arenoso. Subpoliédrico. Pocas raíces. Cantos abundantes.
R		Arenisca micácea.

Los datos analíticos expuestos en la tabla II, se obtuvieron según las técnicas que a continuación se especifican: *Materia orgánica* por el método de Walkley y Black (1934); *Nitrógeno* por el método de Kjeldahl modificado (Jackson, 1958); el valor del *pH* del suelo según Hernando y Sánchez Conde (1954); *Capacidad de cambio catiónico* por el método de Schollenberger y Simon (1945); la granulometría se obtuvo con ayuda del hidrómetro (De Leenheer, Van Ruymbeke y Maes, 1955). Las muestras de suelo se impregnaron con cronolita y la lámina delgada se consiguió según el método normal. En el estudio micromorfológico se usó nomenclatura de Brewer (1964) y Kubiena (1938).

DATOS MICROMORFOLÓGICOS

Perfil I

Horizonte R

Es una típica roca de metamorfismo de contacto, poco alterada, calificada como cornubianita (Saavedra, 1971). Constituida esencialmente por cuarzo, cordierita, moscovita y biotita. La cordierita se distribuye en forma de manchas o nódulos; los demás componentes, de pequeño tamaño se mezclan entre sí. Las micas tienen una orientación alargada y paralela.

Horizonte B/C₁

La contextura plásmica es predominantemente silasépica con escasas áreas insépicas y vosépicas. Orto y metacavidades irregulares, algunos canales y cámaras. El esqueleto está formado por granos micáceos y de cuarzo. La distribución relativa es predominantemente aglomeroplásmica.

Los agregados, muy escasos, son de forma redondeada e irregulares y de tamaño aproximado a 1-1,5 mm.

Algunos cutanes arcillosos. Frecuentes nódulos de óxido de hierro. Muy pocos restos orgánicos.

Son frecuentes los trozos de roca de tamaños aproximados 1.800 × 1.400 μ , y formas ovaladas. Algunos de ellos son nódulos de cordierita muy alterada. Otros son trozos de roca del horizonte R en los que destaca un grado de alteración más avanzado.

Horizonte B

La contextura plásmica es silasépica. Los huecos son orto y metacavidades irregulares, algunos mamelados; menos frecuentes son las grietas irregulares. El esqueleto está formado fundamentalmente por granos micáceos y de cuarzo. La distribución relativa es aglomeroplásmica. La agregabilidad está muy poco desarrollada. Los cutanes:

son menos frecuentes y con orientación más débil que en el horizonte anterior. Abundan los nódulos de óxido de hierro. Los restos vegetales son escasos.

También existen, como en el horizonte B/C₁, trozos de pizarra que en éste están más alterados. Ya no existen nódulos de cordierita.

Horizonte (B)

La contextura plásmica es silasépica. Los huecos predominantes ortocavidades, algunos de empaquetamiento y muy pocos mamelados. Los granos del esqueleto son cuarzo y micas. La distribución relativa es aglomeroplásmica. La agregabilidad es muy escasa. Hay restos vegetales alterados, trozos de esclerocios, hifas y esporas.

Horizonte A₁

La contextura plásmica sigue siendo silasépica. Los huecos son en su mayoría grietas irregulares, así como orto- y metacavidades irregulares y mameladas. Los granos del esqueleto son fundamentalmente micas y cuarzo. La distribución es aglomeroplásmica. Apedal. No se aprecian cutanes. Algunos nódulos de óxidos de hierro, pocas pápulas y litorrelíctos. Algunos restos de esclerocios desmenuzados y mezclados con la masa del suelo.

Horizonte A

Contextura plásmica silasépica. Grietas irregulares y algunos canales, menos frecuentes orto- y metacavidades irregulares y mameladas. Los granos del esqueleto son cuarzo y micas, y la distribución aglomeroplásmica.

Algunos agregados redondeados e irregulares, los primeros de menor tamaño y origen biológico. No hay cutanes. Nódulos irregulares de óxidos de hierro. Hay restos orgánicos en huecos y mezclados con el material suelo, algunas hifas y esporas y restos de esclerocios. El tipo de humus es moder mulliforme.

Perfil II

Horizonte R

Es una pizarra que contiene biotita, cuarzo, cordierita y moscovita y posee análogas características a la roca del horizonte R correspondiente al perfil anterior. Los nódulos de cordierita y los granos de micas son mayores que en aquélla.

Horizonte (B)/C₁

Contextura plásmica silasépica. Los huecos son predominantemente de empaquetamiento compuesto, y los granos del esqueleto fundamen-

talmente cuarzo y micas, de pequeño tamaño. La distribución relativa aglomeroplásmica e intertética. Abundan los peds, éstos son de formas poliédricas irregulares. No hay cutanes. Algunas pápulas. Cantos de pizarra muy alterada. Algunos esclerocios y esporas.

Horizonte A

Contextura plásmica silasépica. Grietas irregulares y ortocavidades. Cuarzo y micas predominantemente como constituyentes del esqueleto. Distribución relativa aglomeroplásmica e intertética. Pocos peds, éstos redondeados y de unas 100 μ de diámetro medio. No hay cutanes. Hay algunos nódulos sesquioxídicos, pápulas y trozos de cuarcitas. La materia orgánica no es muy abundante; algunos trozos de madera carbonizada y restos de esclerocios. El tipo de humus es calificable como mull oligotrofo o moder mulliforme.

Perfil III

Horizonte R

Es una arenisca micácea y arcillosa, constituida por cuarzo, moscovita, escasa biotita y minerales de la arcilla. Se aprecian, débilmente, algunos nódulos de cordierita. Esta roca está más alterada que la correspondiente a los perfiles I y II.

Horizonte (B₂)

La contextura plásmica es silasépica con escasas áreas de disposición vosépica y skelsépica. Los huecos son preferentemente orto- y metacavidades y algunos canales. El esqueleto consta, fundamentalmente, de granos de cuarzo y micas. La distribución relativa es aglomeroplásmica con tendencia a porfirosquélica en ciertas zonas. Apedal. No hay cutanes arcillosos, pero sí existen ordenaciones paralelas a los granos de cuarzo de pequeñas láminas micáceas. Pocos nódulos. Algunos fragmentos de pizarra muy alterada y de cuarcita. Pocos restos orgánicos.

Horizonte (B₁)

Contextura plásmica silasépica. Ortocavidades y algunas grietas irregulares. Esqueleto formado por granos de mica y cuarzo. Las micas, a veces, presentan ordenación en torno a los cuarzos. La distribución relativa es aglomeroplásmica. Algunos cutanes micáceos sobre granos de cuarzo. Medianamente abundantes nódulos ferruginosos. Restos de esclerocios, hifas y esporas.

Horizonte A₁

Contextura plásmica argilasépica. Huecos de empaquetamiento compuesto. Agregados redondeados. El esqueleto está constituido por granos de cuarzo y micas. La distribución relativa es aglomeroplásmica. No hay cutanes. Algunos nódulos ferruginosos. Restos vegetales, hifas, esporas y esporangios.

Horizonte A₀

Contextura plásmica argilasépica-silasépica. Huecos de empaquetamiento compuesto y microestructura de esponja. El esqueleto está formado esencialmente por pequeños granos de mica y muy pocos de cuarzo. La distribución relativa esqueleto-plasma es aglomeroplásmica. No hay cutanes ni agregados. Algunos nódulos de óxidos de hierro asociados frecuentemente a los trozos de areniscas. Abundan los restos orgánicos. El tipo de humus es un intergrado entre moder fino y moder mulliforme.

*Perfil IV**Horizonte R*

Pizarra mosqueada, constituida esencialmente por cuarzo, moscovita, biotita y cordierita, como elementos esenciales. La esquistosidad está tan marcada como en las rocas de los perfiles I y II, pero cabe señalar que en este horizonte la cordierita está más recristalizada y algunos nódulos comienzan a alterarse, mostrando ya un borde amarillento de pinita (Kerr, 1965). También se observa en esta roca que los granos de cuarzo se reagrupan en vetas. Es una roca poco alterada, originada por metamorfismo de contacto.

Horizonte (B)/C₁

Contextura plásmica silasépica. Los huecos son generalmente ortocavidades irregulares y algunos mamilados. El esqueleto está constituido por granos de micas, bastante alterados, y de cuarzo. Los granos de cuarzo se distribuyen al azar, pero los de mica en algunas zonas presentan distribución patrón bandeada. La distribución relativa es intertética. No hay cutanes ni agregados y son poco frecuentes las separaciones ferruginosas. Algunos nódulos de cordierita muy alterada a productos tipo sericita (Kerr, 1965). Escasos restos orgánicos. Algunas hifas y restos de esclerocios.

Horizonte (B)

Contextura plásmica silasépica. La mayoría de los huecos son ortocavidades irregulares, algunas mamiladas y pocas grietas. Los granos

del esqueleto y la distribución relativa esqueleto-plasma presentan análogas propiedades a las del horizonte (B)/C₁. No existen cutanes. El material suelo es generalmente apedal, sólo existen algunas deyecciones y muy pocas unidades poliédricas. Algunos nódulos ferruginosos. Los restos orgánicos son más abundantes que en el horizonte anterior, la mayoría están muy alterados y mezclados con la masa del suelo.

Horizonte A

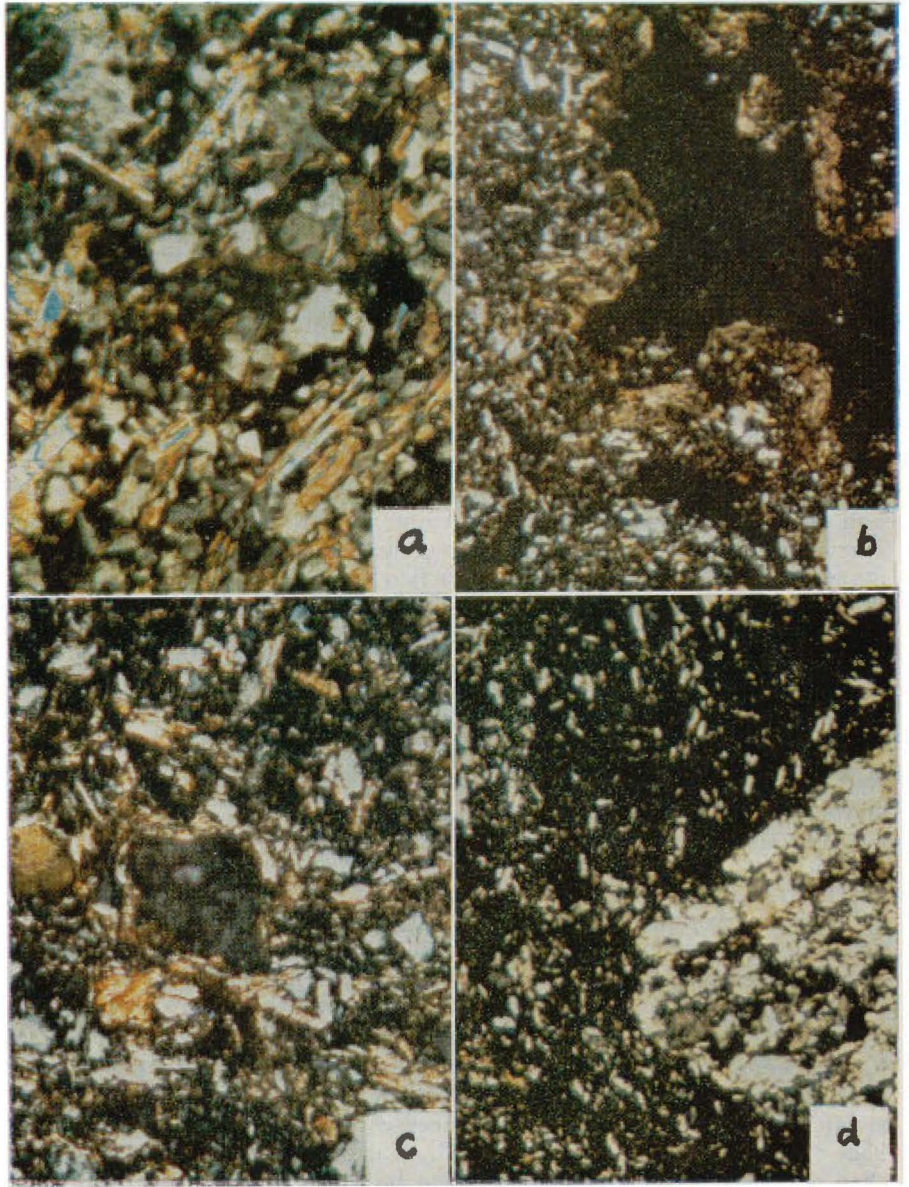
Contextura plásmica silasépica. Los huesos son casi exclusivamente ortocavidades irregulares. El esqueleto está constituido por granos de cuarzo y micas. La distribución esqueleto-plasma es intertética. No hay cutanes. Pocos nódulos ferruginosos. También existen acumulaciones ferruginosas en los trozos muy alterados de pizarra. Los restos orgánicos son abundantes.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El estudio químico y mineralógico realizado sobre los materiales origen de los perfiles expuestos, indica que se trata de productos de metamorfismo de contacto de las masas graníticas con las pizarras. En la mayoría de ellos el mineral metamórfico típico es la cordierita (Saavedra, 1970, 1971). Las rocas de los perfiles I, II y IV contienen además, biotita, cuarzo y moscovita, y como minerales accesorios magnetita, hematites, turmalina, circón, grafito, etc. La roca del perfil III está constituida, además de por cordierita, de cuarzo, moscovita, escasa biotita, y como minerales accesorios clorita y sericita.

El estudio morfológico de los perfiles muestra que la roca considerada como fresca (horizonte R) aparece a unos 70 cm. de profundidad en los perfiles II y IV, seguida de un horizonte de transición, de espesor aproximado de 30 a 45 cm, (B)/C₁, de color pardo fuerte a pardo rojizo fuerte, que contiene abundantes trozos de pizarra en los que se observan rasgos típicos de alteración. En el perfil I la roca fresca aparece a mayor profundidad, aproximadamente a 1 m. Por encima hay un delgado horizonte (unos 10 cm de espesor) B/C₁, constituido por pizarra metamórfica alterada y material del horizonte situado por encima. El perfil III, desarrollado sobre cuarcita pizarrosa, no presenta, de manera clara, un horizonte de roca alterada.

Por consiguiente, salvo en el perfil I, que ocupa una posición de llano alto, a unos 1.100 m, en los demás, situados en ladera, la transición del material geológico subyacente a los horizontes de suelo se hace por medio de horizontes (B)/C₁, a excepción del perfil III. En el caso del perfil I, el factor topográfico ha facilitado un drenaje interno, con la consiguiente iluviación vertical de sustancias y la formación de un horizonte B/C, en el que existen trozos de roca con cordierita muy alterada, y biotitas fuertemente decoloradas, liberando hierro. El plasma de este horizonte es arcillo-ferruginoso, de contextura silasépica predominante, pero también con zonas insépicas y vosépicas.



Los horizontes (B)/C₁ presentan contextura plásmica silasépica, un esqueleto constituido esencialmente por granos de cuarzo y micas muy alteradas. Aparecen algunos nódulos de cordierita muy alterada, así como pápulas y separaciones ferruginosas filamentosas, pero no se observan cutanes. Cabe destacar la presencia, ya, en estos horizontes de restos orgánicos con estructuras aún reconocibles (trozos de esclerocios de hongos, esporas, hifas, etc.).

El estudio microscópico de los granos del esqueleto de estos perfiles indica que se trata de suelos desarrollados *in situ*. Las especies minerales que lo constituyen son aquellas más estables de que consta la roca madre; el tamaño y grado de alteración depende dentro de cada perfil de la profundidad de cada horizonte y de otras propiedades específicas a cada perfil. Existe asimismo la presencia de elementos minerales alóctonos, debido a un arrastre lateral, en virtud de la topografía.

Las contexturas plásmicas son generalmente asépticas; sólo las condiciones del perfil I permiten la libre reorganización de sustancias coloidales con ciertos patrones preferentes de orientación.

Las distribuciones relacionadas son en general aglomeroplásmicas y menos frecuente intertécticas como corresponde a las contexturas plásmicas expuestas. Sólo en el horizonte (B₂) del perfil III se observa una leve tendencia a distribución porfirioesquelica en algunas zonas.

Los tipos de huecos más frecuentemente observables son orto- y metacavidades, huecos irregulares y algunas grietas como corresponde a suelos en los que es poco frecuente la existencia de agregados, y de las expuestas contexturas plásmicas.

La proporción de arcilla es generalmente baja, a excepción de los horizontes más profundos del perfil I, en los que ha sido posible una acumulación de materiales finos en virtud de la especial situación topográfica de este perfil frente a los demás, situados en pendientes de 10 por 100 y 15 por 100. El lavado lateral en éstos es en parte causa del bajo contenido en arcilla. También las temperaturas más bien bajas en la mayor época del año, influyen en la escasa formación de productos arcillosos.

Son suelos ácidos. Los valores de pH varían entre 5,4 y 6,6.

El contenido en M. O. es bajo generalmente, si bien en el perfil III alcanza valores del 13,1 por 100.

Las capacidades de cambio catiónico tienen en estos suelos, por lo general, valores bajos, a excepción de los horizontes A₀ y A₁ del perfil III, en virtud del elevado contenido en materia orgánica.

Las características estructurales y biológicas de los horizontes superiores permiten clasificar el tipo de humus como de moder grueso con ciertos caracteres de moder mulliforme en el perfil I, moder oligotrofo o moder mulliforme en el perfil II, integrado entre moder fino y moder mulliforme en el perfil III, y mull en el perfil IV.

En resumen, todo parece indicar que las rocas metamórficas de estos perfiles han experimentado un proceso de alteración física con fragmentación en trozos más o menos pequeños y desagregación de granos minerales, acumulándose los minerales estables (cuarzo y otros). A la vez el microclima del suelo determina una alteración de cordierita y micas (fundamentalmente biotitas) con fuerte liberación de hierro que es adsorbido en los minerales de la arcilla estables en las nuevas con-

diciones. Como resultado aparecen diversos tipos de contexturas plásticas, algunos de cuyos componentes llegan a individualizarse para formar parte de rasgos pedológicos (cutanes, nódulos ferruginosos, etc.). La distinta situación topográfica de los perfiles y las variaciones de vegetación influyen en el tipo de lavado y por tanto en la evolución de cada uno.

El conjunto de datos analíticos, de campo, macroscópicos y microscópicos, permiten clasificar estos suelos como tierras pardas (perfiles II, III y IV) y tierra parda lixiviada (perfil I).

RESUMEN

En el presente trabajo se exponen datos geológicos, climáticos, de vegetación, morfológicos y analíticos de cuatro perfiles de suelos desarrollados sobre rocas metamórficas (pizarras y arenisca micácea) de Sierra de Francia (Salamanca). Los datos generales y el estudio micromorfológico se comentan y discuten en orden al conocimiento de los procesos de alteración de dichas rocas y de la edafogénesis.

*Departamento de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias
de la Universidad de Córdoba.
Sección de Suelos del C. E. B. A. C. (Sevilla), C. S. I. C.*

BIBLIOGRAFÍA

- BREWER, R. (1964). Fabric and mineral analysis of soil. John Wiley and Sons, Inc. New York.
- FERNÁNDEZ DíEZ, F. J. (1974). Estudio de la flora y vegetación de la Sierra de Tamames y Peña de Francia. Tesis doctoral.
- FORTEZA, J. et al. (1973). Suelos de la comarca «Sierra de Francia» (Salamanca). Características químicas y físicas. An. Edaf. y Agrob., XXXII, 7-8, 573.
- GARCÍA RODRÍGUEZ, et al. (1964). Los suelos de la provincia de Salamanca. Publicaciones del I. O. A. T. O., Salamanca.
- GARMENDÍA, J. (1964). Estudio climatológico de la provincia de Salamanca I y II. Publicaciones del I. O. A. T. O., Salamanca.
- KERR, P. F. (1965). Mineralogía óptica. Ediciones del Castillo, Madrid.
- KUBIENA, W. L. (1938). Micropedology. Ames, Iowa.
- SAAVEDRA, J. (1970). Las formaciones paleozoicas de la comarca salmantina Sierra de Francia y sus procesos de alteración. Tesis doctoral, Salamanca.
- SAAVEDRA, J. (1971). Las formaciones paleozoicas de la comarca salmantina Sierra de Francia y sus procesos de alteración. Separata de tesis de Ciencias 69-70 (Acta Salmanticensis, Ciencias, 37).

Recibido para publicación: 10-VI-77

ESTUDIO DE LOS FOSFATOS INORGANICOS EN RELACION CON EL GRADO DE EVOLUCION EN ANDOSOLES

por

F. GUTIERREZ JEREZ, J. A. PEREZ MENDEZ, E. FERNANDEZ CALDAS
y A. BORGES PEREZ

SUMMARY

STUDY OF THE RELATIONSHIP BETWEEN THE INORGANIC PHOSPHATES AND THE WEATHERING DEGREE OF THE CANARY ISLANDS ANDOSOLS

The relationship of the several fractions of the inorganic phosphates, extracted by the Chang-Jackson method, with the weathering degree of the Canary Islands andosols show the following trend:

1. The fractions P-Ca and P-Al decrease as the weathering degree increase, giving the aluminium phosphate a maximum in the Evolved Vitrandepts.
2. The fraction P-Fe has not very much variation in the sequence, excluding the profil Manantiales, which has a very high values comparably to the other profiles.
3. The P-occluded tends to increase with the weathering degree.

Chang-Jackson's hypothesis goes quite well to these soils, because the differents forms of soil inorganic phosphates are related with the weathering degree according to the following tendence: P-Ca, P-Al, P-Fe, P-occluded.

INTRODUCCIÓN

Walker establecía en 1964 que posiblemente el fósforo es un elemento clave en la edafogénesis, debido a su gran significado ecológico. Estudios posteriores han ido confirmando dicha afirmación, si bien es necesario aún disponer de mucha más información para delimitar su verdadero significado.

Así, las transformaciones de las formas de fósforo en los suelos han sido utilizadas en varios estudios como indicador de las intensidades relativas de la alteración del suelo (Chang y Jackson, 1958; Al-Abbas y Barber, 1964; Chang y Juo, 1963).

Se ha acumulado una importante información del estudio de diferentes secuencias de suelos (climo, crono, toposecuencias, etc.).

En estudios de cronosecuencias, Goffrey y Riecken (1954), Bauwin y Tyner (1957) y Walker (1964), han comprobado que la cantidad y formas de fósforo en los suelos suministra un índice de la edad relativa de los suelos estableciendo que el aumento de los fosfatos ocluidos con

el tiempo es uno de los mejores indicadores de la edad relativa del suelo.

Aunque desde hacía mucho tiempo se había intentado establecer la dinámica de las transformaciones de los fosfatos inorgánicos que se producen en los procesos edafológicos, para lo cual se habían propuesto diversos esquemas de fraccionamiento (Dean, 1938; Chirikov, 1939; Ghani y Aleen, 1943; Williams, 1950), fue en 1957 cuando se produjo un hito importante en el estudio de esta temática con la publicación del esquema de fraccionamiento propuesto por Chang y Jackson, ya que a partir de este estudio prácticamente todas las investigaciones encaminadas a fraccionar los fosfatos inorgánicos, utilizan dicho esquema o lo modifican en algunos aspectos para aumentar su efectividad.

Teniendo en cuenta esta peculiaridad nos proponemos en el presente artículo dar cuenta de las tendencias de las diversas fracciones de los fosfatos inorgánicos en una secuencia de suelos de características ándicas, ordenados por su grado de evolución, basándonos para ello en criterios físico-químicos como son, su análisis mecánico y la mineralogía de arcillas, ya que no disponemos de los medios necesarios para una correcta datación.

MATERIAL Y MÉTODOS

Los suelos utilizados en este estudio son los mismos que se reseñan en un trabajo anterior (Pérez Méndez, 1978) y que corresponden a diferentes andosoles de las Islas Canarias, formando una cronosecuencia:

Vitrandepts: Zabagu y Chinyero.

Vitrandepts evolucionados: Izaña y Portillo.

Dystrandepts: Aguamansa I y Aguamansa II.

Intergrados Andosol-Tierra parda oligotrófica: Manantiales y Pico del Inglés.

En cuanto al método de fraccionamiento de los fosfatos inorgánicos utilizamos el de Chang y Jackson (1957) modificado por Glenn y col. (1959).

Análisis de los resultados en relación con el grado de evolución de los suelos

Los porcentajes de fósforo inorgánico de cada fracción con respecto al fósforo inorgánico total extraído por el método de Chang-Jackson presentan, con el grado de alteración de los suelos estudiados, las siguientes tendencias:

Los fosfatos de Ca y Al (gráficas 1 y 2) disminuyen al aumentar la alteración presentando los últimos un máximo correspondiente a los suelos del grupo de los Vitrandepts evolucionados. Los fosfatos de hierro (gráfica 3) no presentan grandes variaciones, excepto el perfil Manantiales, que presenta un porcentaje algo superior al resto de los

TABLA I

Fraccionamiento de los fosfatos inorgánicos (los valores de P están expresados en ppm)

Perfil	Hor.	P-Al (NH ₄ F)	P-Fe (1-NaOH)	P-sol. red. (Ditio-Cit.)	P-ocluido (2-NaOH)	P-Ca (H ₂ SO ₄)	P-inorg. extr.
Zabagú	A	708	750	229	272	354	2.313
	(B)	725	874	255	333	471	2.654
	(B)/C	258	556	135	206	515	1.670
Chinyero.....	A	968	809	132	233	371	2.513
	(B)	265	385	26	265	265	1.206
Izaña	A	1.032	385	77	55	209	1.758
	(B)	270	243	86	43	162	804
	(B)/C	53	127	63	32	81	356
Portillo	A	676	358	37	85	371	1.527
	A ₁	757	330	55	148	132	1.422
	(B)	602	322	39	129	33	1.125
	(B)/C	270	189	43	54	34	590
Aguamansa I...	A	452	495	180	209	169	1.505
	(B)	249	409	246	210	35	1.149
	(B)/C	56	178	334	78	25	671
Aguamansa II...	A	361	375	161	211	127	1.235
	(B) ₁	300	442	154	308	177	1.381
	(B) ₂	251	472	165	318	130	1.336
	(B)/C	552	799	273	377	180	2.181
Manantiales	A	27	138	—	116	13	294
	(B)	28	194	55	139	13	429
	(B)/C	54	327	180	202	22	785
	A ₁₁	50	125	260	66	30	531
Pico del Inglés..	A ₁₂	tr.	108	340	103	11	562
	B ₂₁	tr.	203	329	178	18	728
	B ₂₂	tr.	351	540	265	22	1.178

suelos. El P-ocluido (gráfica 4) muestra una tendencia a aumentar con el grado de alteración de los suelos.

Estas mismas tendencias generales se mantienen prácticamente cuando los valores de fósforo en las diferentes fracciones se expresan como porcentajes con respecto al contenido en fósforo total de los suelos determinado por el método de digestión HF/HNO₃ (gráficas 1 a 4).

Cabe destacar sin embargo, que el perfil Manantiales se desvía notablemente en el caso de las fracciones P-Fe (gráfica 3) (valor máximo como % P inorgánico y valor mínimo como % P total) y P-ocluído (gráfica 4), y la similitud de los valores en el horizonte A₀ del perfil Portillo.

TABLA II

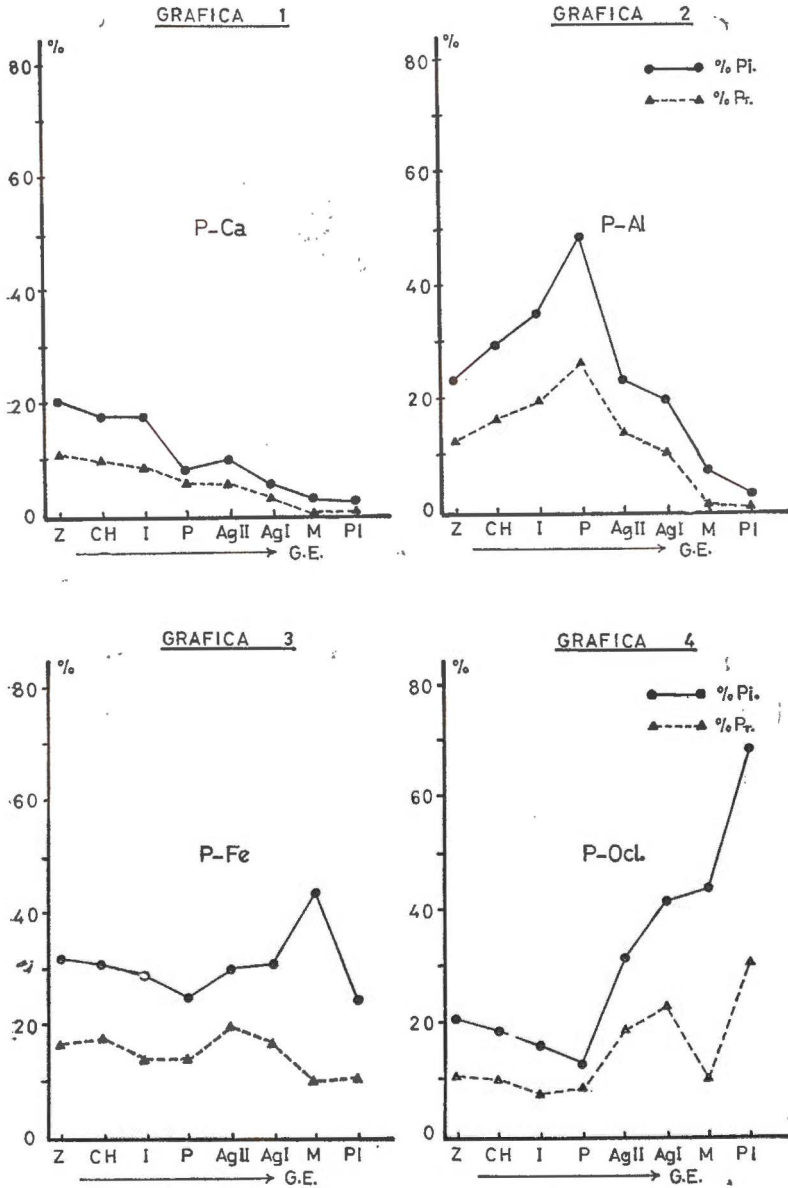
Fraccionamiento de los fosfatos inorgánicos (los valores de P están expresados en ppm)

Perfil	Hor.	Fracción I	Fracción II	Fracción III	P-activo	Frac. I + II	Fracción I	P-AI
		P-Ca	P-no ocluído	P-ocluído	Frac. I + II	Fracción III	Fracción II	P-Fe
Zabagú	A	354	1.458	501	1.812	3,60	0,24	0,94
	(B)	471	1.595	588	2.066	3,50	0,29	0,82
	(B)/C	515	814	341	1.329	3,80	0,63	0,46
Chinyero	A	371	1.777	365	2.148	5,80	0,20	1,19
	(B)	265	650	291	915	3,10	0,40	0,68
Izaña	A	209	1.417	132	1.626	12,30	0,14	2,68
	(B)	162	513	129	675	5,20	0,31	1,11
	(B)/C	81	180	95	281	2,70	0,45	0,41
Portillo	A ₀	371	1.034	122	1.405	11,50	0,32	1,89
	A ₁	132	1.087	203	1.219	6,00	0,12	2,29
	(B)	33	924	168	975	5,60	0,18	1,86
	(B)/C	34	459	97	493	5,00	0,21	1,42
Aguamansa I ...	A	169	947	389	1.116	2,80	0,17	0,91
	(B)	35	658	456	693	1,50	0,05	0,60
	(B)/C	25	234	412	259	0,60	0,10	0,31
Aguamansa II ...	A	127	736	372	863	2,30	0,17	0,96
	(B) ₁	177	742	462	919	1,90	0,23	0,67
	(B) ₂	130	723	483	853	1,70	0,17	0,53
	(B)/C	180	1.351	650	1.531	2,30	0,13	0,69
Manantiales	A	13	165	116	178	1,50	0,07	0,19
	(B)	13	222	194	235	1,20	0,05	0,14
	(B)/C	22	331	382	403	1,05	0,05	0,16
	A ₁₁	30	175	326	205	0,60	0,17	0,40
Pico del Inglés ..	A ₁₂	11	108	443	119	0,26	0,10	—
	B ₂₁	18	203	507	221	0,43	0,08	—
	B ₂₂	22	351	805	373	0,46	0,06	—

TABLA III

Fraccionamiento de los fosfatos inorgánicos. Porcentajes con respecto al P-inorgánico y P-total

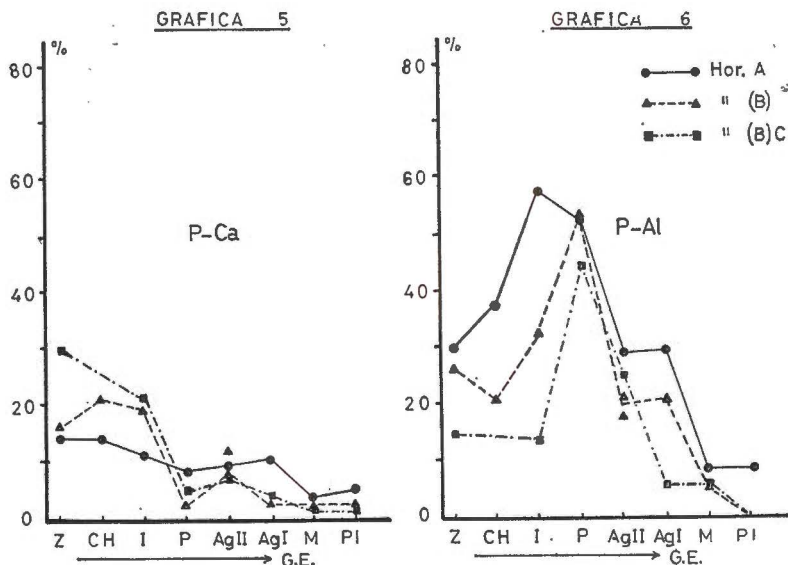
Perfil	Hor.	P-Al		P-Fe		P-Fracción I		P-Fracción II		P-Fracción III		P activo	
		% P _i	% P _t	% P _i	% P _t	% P _i	% P _t	% P _i	% P _t	% P _i	% P _t	% P _i	% P _t
Zabagú	A	30,6	15,8	32,4	16,7	15,3	7,9	63,0	32,6	21,6	11,2	78,3	40,5
	(B)	27,1	15,8	32,9	19,2	17,7	10,3	60,0	35,0	22,1	12,9	77,8	45,3
	(B)/C	15,4	7,7	32,2	16,5	30,8	15,3	48,7	24,1	20,4	10,1	79,5	39,4
Chinyero.....	A	38,5	22,8	32,1	19,1	14,7	8,7	70,6	41,9	14,5	8,6	85,4	50,6
	(B)	21,9	11,8	31,9	17,2	21,9	11,8	53,8	29,0	24,1	13,0	75,8	40,8
Izaña	A	58,7	37,5	21,8	14,0	11,8	7,6	80,6	51,5	7,5	4,8	92,5	59,1
	(B)	33,5	16,1	30,2	14,5	20,1	9,6	63,7	30,6	16,1	7,7	83,8	40,2
	(B)/C	14,8	6,2	35,6	14,9	22,8	9,5	50,4	21,1	26,7	11,2	73,2	30,6
Portillo	A ₀	44,2	26,5	23,4	14,0	17,3	14,5	67,7	40,5	7,9	4,8	85,0	55,0
	A ₁	53,2	28,1	23,2	12,2	9,2	4,8	76,4	40,3	14,3	7,5	85,6	49,1
	(B)	53,5	27,1	23,6	14,5	2,9	1,4	82,1	41,6	14,9	7,5	85,0	43,0
	(B)/C	45,7	25,2	32,0	17,6	5,8	3,2	77,6	42,8	16,4	9,0	83,4	46,0
Aguamansa I ...	A	30,0	17,0	32,8	18,6	11,2	6,3	62,8	35,6	25,8	14,6	74,0	46,9
	(B)	21,6	10,3	35,5	17,0	3,0	1,4	57,2	27,3	39,6	19,0	60,2	28,7
	(B)/C	8,3	5,0	26,5	16,0	3,8	2,2	34,8	21,0	61,3	37,1	38,6	23,2
Aguamansa II...	A	29,2	15,4	30,3	16,1	10,3	5,4	59,5	31,5	30,0	15,9	69,8	36,9
	(B) ₁	21,7	13,1	32,0	19,4	12,7	7,7	53,7	32,6	33,4	20,2	66,4	40,2
	(B) ₂	18,7	10,6	35,3	20,0	9,7	5,5	54,1	30,6	36,1	20,4	63,8	36,1
	(B)/C	25,3	17,3	36,6	25,0	8,2	5,6	61,9	42,3	29,8	20,3	70,1	47,9
Manantiales	A	9,1	1,4	46,9	7,3	4,4	0,7	56,1	8,7	39,3	6,2	60,5	9,4
	(B)	6,5	1,2	45,2	8,6	3,1	0,5	51,6	9,8	45,2	8,6	54,7	10,3
	(B)/C	6,8	2,4	41,6	14,6	2,7	0,9	48,6	17,0	48,6	17,1	51,3	17,9
Pico del Inglés..	A ₁₁	9,4	4,1	23,5	10,3	5,6	2,4	32,9	14,4	61,4	26,9	38,4	16,8
	A ₁₂	—	—	19,2	8,0	1,9	0,8	19,2	8,0	78,8	32,8	21,1	8,8
	B ₂₁	—	—	27,8	11,0	2,5	0,9	27,8	11,0	69,6	27,6	69,9	11,9
	B ₂₂	—	—	29,7	16,6	1,8	1,0	29,8	16,6	68,3	38,2	31,6	17,6



Como han indicado varios autores, entre ellos Williams y Walker (1969), parece más adecuado comentar los resultados en % que en ppm, y siendo la práctica habitual utilizar los porcentajes con respecto a P inorgánico, es por lo que hemos decidido utilizar estos valores en los comentarios siguientes, cuando se utilicen los porcentajes con respecto al fósforo total, se especificará en cada caso.

Si tenemos en cuenta, al analizar estas tendencias, los valores que presentan los diferentes horizontes, observamos que:

En la fracción P-Ca (gráfica 5), la tendencia a la disminución a medida que avanzamos en la secuencia es bastante clara en los horizontes (B) y (B)/C, mientras que los % de los horizontes A se mantienen aproximadamente constantes, con valores mínimos en los Intergrados Andosol-Tierra parda oligotrófica.



Por otra parte, observamos en esta misma fracción, al avanzar la secuencia, dos tipos de tendencias al profundizar en los perfiles:

a) En Zabagu, Chinyero e Izaña, la proporción de P-Ca en los horizontes (B)/C es más alta que en los horizontes superiores; esto es típico de suelos jóvenes ya que, por un lado, las pérdidas por lixiviación, que afectan principalmente a los fosfatos de calcio, no son muy acusadas, y por otro a que la vegetación aún no ha agotado las reservas originales de fosfatos en los horizontes inferiores (lo que se evidencia por la gran cantidad de minerales primarios encontrados en el análisis mineralógico de dichos suelos (Cabezas Viaño, 1975).

b) En los perfiles restantes (Portillo, Aguamansa I y II, Manantiales y Pico del Inglés) los porcentajes superiores corresponden a los horizontes A, presentando los demás horizontes porcentajes inferiores al 10 por 100. Esto puede ser explicado en función de los aportes de P-Ca por los restos vegetales que mantienen unos niveles más o menos constantes en los horizontes superiores, siendo además el calcio uno de los cationes retenidos por los compuestos húmicos y que, a su vez, forma puentes entre éstos y los iones fosfato (Gaucher, 1973). En estos suelos no se observan diferencias tan notables entre los horizontes A y los (B)/C, y el hecho de que los horizontes A presenten valores superiores, justifica plenamente la actuación del factor vegetación.

En la fracción P-Al (gráfica 6) observamos una desviación de la tendencia general a disminuir, a medida que aumenta la evolución de los suelos, presentándose un máximo acusado en el horizonte A de Izaña —sus horizontes inferiores siguen la tendencia general— y en todos los horizontes del perfil Portillo, que presentan valores análogos.

Esta semejanza entre el horizonte A de Izaña y el perfil Portillo concuerda con la interpretación dada por Fernández Caldas y Tejedor Salguero (1975) en el sentido de que Izaña parece ser un suelo complejo pardo desaturado rejuvenecido ándico cuya zona superficial se aproxima fuertemente al perfil Portillo, pudiendo corresponder su parte inferior a un antiguo suelo pardo más arcilloso, y cuyo rejuvenecimiento se debe a aportes recientes de cenizas fonolíticas ricas en Al. Los valores semejantes que presentan todos los horizontes del perfil Portillo pueden ser consecuencia del carácter coluvial de este suelo situado en la base de una ladera.

Los valores máximos que presentan todos estos horizontes en la fracción P-Al pueden ser interpretados, de acuerdo con la secuencia de transformación de fosfatos propuesta por Chang y Jackson (1958), como una acumulación debida al primer tipo de transformaciones que suceden en los compuestos de fósforo en suelos: P-Ca \rightarrow P-Al. Walker y Adams (1968) encontraron tendencias semejantes al estudiar una secuencia de suelos desarrollados sobre material basáltico.

Se observa, por otro lado, una mayor diferenciación en las proporciones de P-Al entre los horizontes de un mismo perfil que en las restantes fracciones, siendo los horizontes A los más ricos, disminuyendo en (B) y (B)/C, lo que podría indicar la influencia de la materia orgánica en la acumulación de los fosfatos de aluminio.

El máximo que presenta el perfil Manantiales, como conjunto en la fracción P-Fe (gráfica 7), debemos atribuirlo a la mayor riqueza en hierro de este perfil, gran parte del cual se encuentra en forma de hidratos férricos que poseen un gran poder de fijación de fosfatos, incluso superior al de las arcillas (Gaucher, 1973).

Los porcentajes inferiores de esta fracción corresponden a los horizontes A y los superiores a los horizontes (B)/C, excepto en el perfil Manantiales y en los horizontes superiores del perfil Pico del Inglés, lo que puede indicar una mayor participación, en estos suelos más evolucionados, del hierro en la formación de complejos fosfato-Fe-materia orgánica (o arcilla).

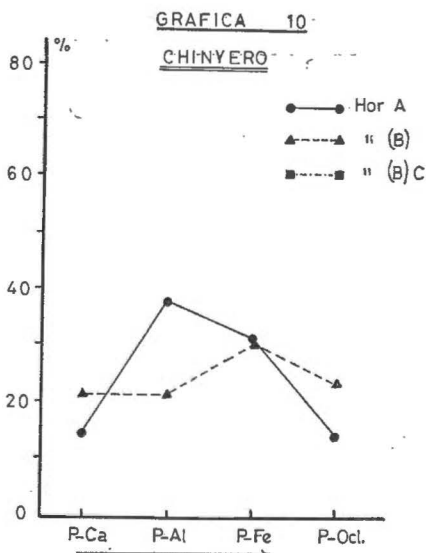
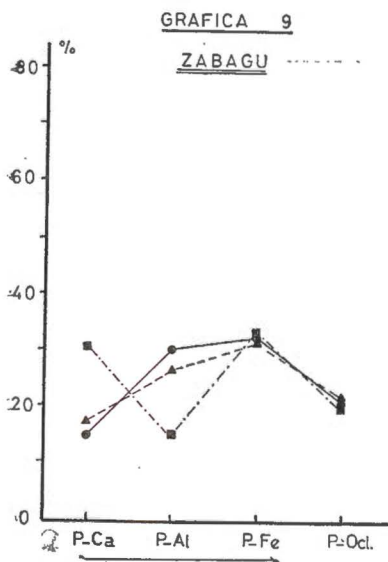
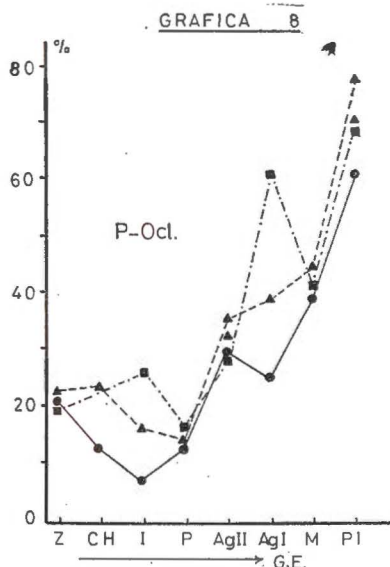
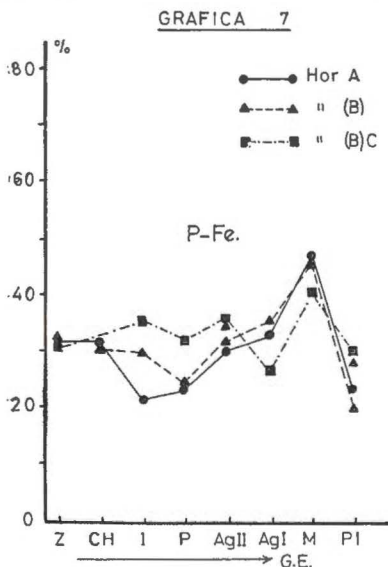
En la fracción P-ocluido (gráfica 8) se observan tendencias opuestas a las de la fracción P-Al: aumentan los porcentajes con la evolución de los suelos, presentando el suelo más evolucionado valores superiores al 60 por 100, y los horizontes A son los de menor contenido dentro de un mismo perfil, correspondiendo los valores mínimos al horizonte A de Izaña y a los del perfil Portillo.

Es evidente el contenido menor de fosfatos ocluidos en los horizontes superiores, ya que la mayor riqueza en materia orgánica impide, en alguna medida, la formación de dicho tipo de fosfatos. Por otra parte, el carácter eluvial de estos horizontes hace que la formación de costras y recubrimientos de óxidos esté más favorecida en los horizontes inferiores, dando lugar como consecuencia, a una mayor formación de formas ocluidas de fósforo.

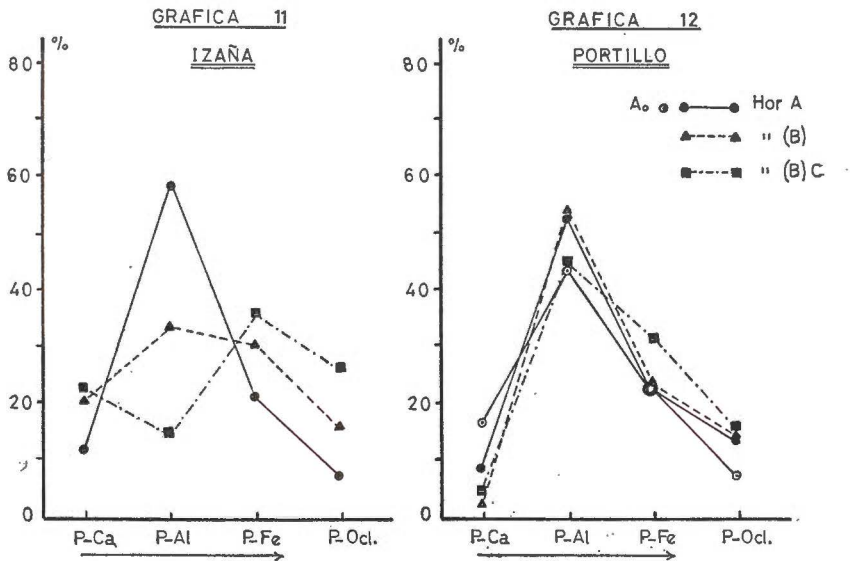
Cabe señalar, en esta fracción, la desviación acusada del horizonte (B)/C de Aguamansa I, caso que comentaremos más adelante.

Cuando comparamos los porcentajes de cada fracción en un mismo perfil observamos diferencias notables según el grado de evolución de los suelos:

Así, las gráficas correspondientes a los perfiles Zabagu, Izaña y Chinyero (gráficas 9, 10, 11, respectivamente), presentan la forma co-



respondiente a suelos moderadamente alterados (Chang y Jackson, 1958) con unos porcentajes de P-Ca superiores al 20 por 100 en sus horizontes profundos y unas proporciones relativamente bajas de fósforo ocluido. Destaca además en estos suelos las diferencias de contenido de P-Al entre los diferentes horizontes, lo que puede ser debido a la formación de complejos entre la materia orgánica y el fósforo a través del aluminio (Williams y otros, 1958; Williams y Walker, 1969), por lo que diferencias en el contenido en materia orgánica se traducirían, en alguna medida, en diferencias de P-Al a través del perfil, pudiendo observarse que es en estos perfiles donde se presentan mayores diferencias en los contenidos de materia orgánica entre horizontes.



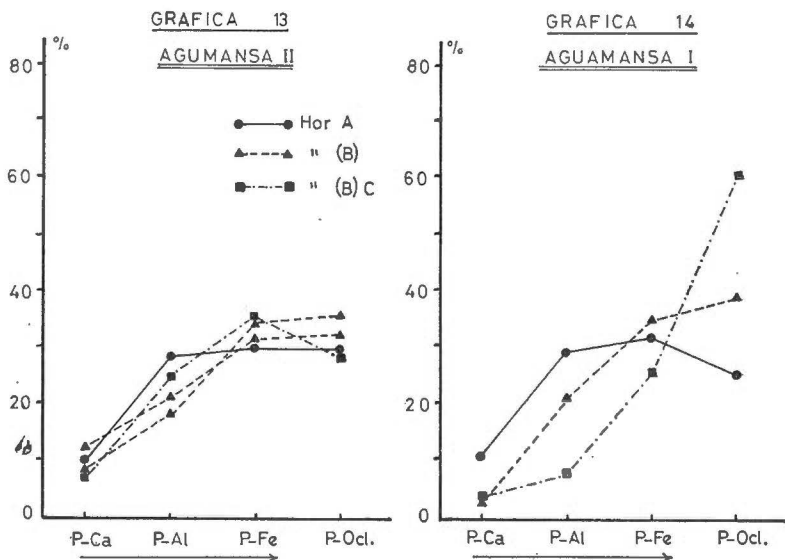
El perfil Portillo (y el horizonte A de Izaña) presenta, como ya hemos visto, un alto contenido en P-Al atribuible quizás a un mayor contenido en aluminio del material de origen fonolítico, material análogo al del horizonte A de Izaña.

El perfil Portillo (y el horizonte A de Izaña) con pH comprendidos entre 4,9 y 5,5 presentan además una baja proporción de P-ocluido, contrariamente a lo que sería de esperar a tales niveles de acidez, lo que nos puede sugerir, de acuerdo con Hsu y Jackson, 1960, que los procesos genéticos que causan la acidez del suelos proceden más rápido que los correspondientes a las transformaciones de fosfatos.

Habría que considerar también que, en algunos casos, se ha visto que la formación de P-ocluido está más influenciada por las condiciones climáticas que por el grado de evolución. Así, por ejemplo, se ha encontrado que un Aridisol ligeramente alterado, pero con un alto grado de sequedad, hay más fósforo ocluido que en un Oxisol fuertemente alterado (Westin y Brito, 1969). Por otro lado, en un Latosol desarrollado sobre cenizas volcánicas y con un alto grado de evolución, y en condiciones climáticas frías con una estación seca corta, sigue man-

teniendo unos niveles considerables de formas activas de aluminio y hierro que no han evolucionado a formas ocluidas Dahnke y otros (1964).

En nuestro caso, Izaña y Portillo, climáticamente diferentes al resto de los suelos estudiados, situados a unos 2.400 metros de altitud, bajo clima sub-alpino, en donde el suelo se mantiene frío y húmedo incluso en la estación seca, se dan unas condiciones que, según hemos visto, no favorecen la evolución de formas activas de fósforo a formas ocluidas.



Los perfiles Aguamansa II y Aguamansa I (gráficas 13, 14) presentan un comportamiento bastante análogo y de un mayor grado de evolución que los anteriores, pues a un menor contenido de P-Ca, presentan, sobre todo en los horizontes inferiores, un aumento del fósforo ocluido, con valores similares a la fracción P-Fe. No obstante, el horizonte (B)/C de Aguamansa I presenta la forma característica de una gran evolución de las formas de fósforo pese a pertenecer a un suelo poco profundo y a haberse desarrollado en unas condiciones ecológicas idénticas al perfil Aguamansa II. No obstante, dicho horizonte presenta un conjunto de propiedades que pueden justificar el mayor grado de transformación de las formas de fósforo:

Un drenaje rápido que favorece la pérdida de fosfatos de calcio y solubles.

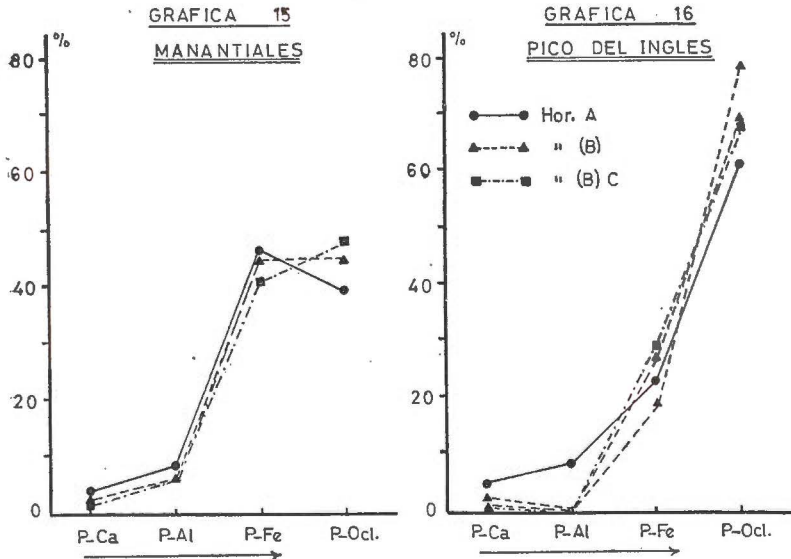
Un bajo contenido en materia orgánica (0,63 por 100 de C), que, en función de las consideraciones hechas anteriormente, explicaría el bajo contenido en fósforo unido al aluminio.

Una gran liberación de hierro, con presencia de hematites y concreciones férricas que dan lugar a una proporción grande de fósforo ocluido.

No debe deducirse, sin embargo, una mayor evolución edafológica para dicho horizonte, puesto que los niveles de P-Ca y P-Al, si bien son

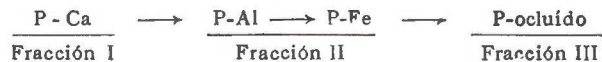
bajos, no son suficientes como para aceptar un grado de evolución muy avanzado.

Los Intergrados Andosol-Tierra parda oligotrófica presentan las proporciones típicas de suelos muy evolucionados, y en particular el perfil Pico del Inglés (gráfica 16), pues en Manantiales (gráfica 15) se conserva aún una gran proporción de P-Fe, ocupando este último perfil una posición intermedia entre Aguamansa I y II y el perfil Pico del Inglés en su grado de alteración.



Las características típicas de suelos muy evolucionados que presentan los Intergrados son: una desaparición prácticamente completa de las fracciones P-Ca y P-Al, estando la mayor parte del fósforo inorgánico extraíble por el método de Chang-Jackson en forma ocluida.

De lo comentado hasta aquí puede deducirse que en estos suelos se cumple la hipótesis de Chang y Jackson (1958) en el sentido de que las diferentes formas de fósforo siguen, con la evolución del suelo, la siguiente secuencia:

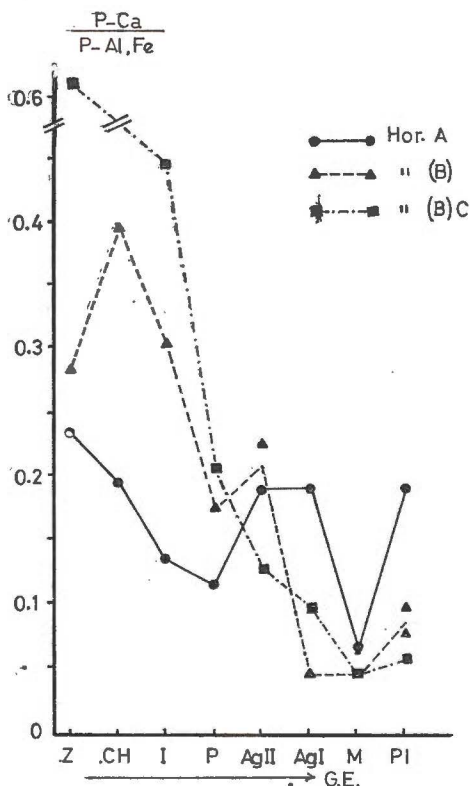


esto es, las formas minerales primarias (fracción I) tienden a evolucionar hacia formas secundarias ocluidas (fracción III) prácticamente inertes, con un estado intermedio (fracción II) de fosfatos de Fe y Al activos.

El primer paso de esta secuencia sería pues, la transformación de los fosfatos de calcio en fosfatos de hierro y aluminio no ocluidos, tendencia que se refleja en la gráfica 17. Así vemos que, según avanzamos en la secuencia de suelos, se observa una disminución muy acusada de la relación P-Ca/P-Al + Fe en los horizontes (B)/C y en los horizon-

tes (B). En los horizontes A la tendencia es clara en los Vitrandepts y Vitrandepts evolucionados. Esta relación nos indica, en alguna medida, la liberación del P-Ca del material original y de ahí que la tendencia sea mucho más clara y más acusada en los horizontes profundos.

GRAFICA 17



La evolución de las formas de fósforo inorgánicas dentro de la fracción II y el paso de la fracción II a la fracción III se pueden observar en las gráficas 18 y 19. Así, las relaciones P-Al/P-Fe y P-no ocluido/P-ocluido, que nos indicarían la evolución de las formas inorgánicas secundarias de fósforo, disminuyen con el grado de evolución de los suelos, aunque de una manera más acusada en el caso de la segunda relación, lo que pone de manifiesto una cierta capacidad de amortiguamiento de las fracciones P-Al y P-Fe en impedir la evolución de las formas de fósforo a formas ocluidas prácticamente irreversibles.

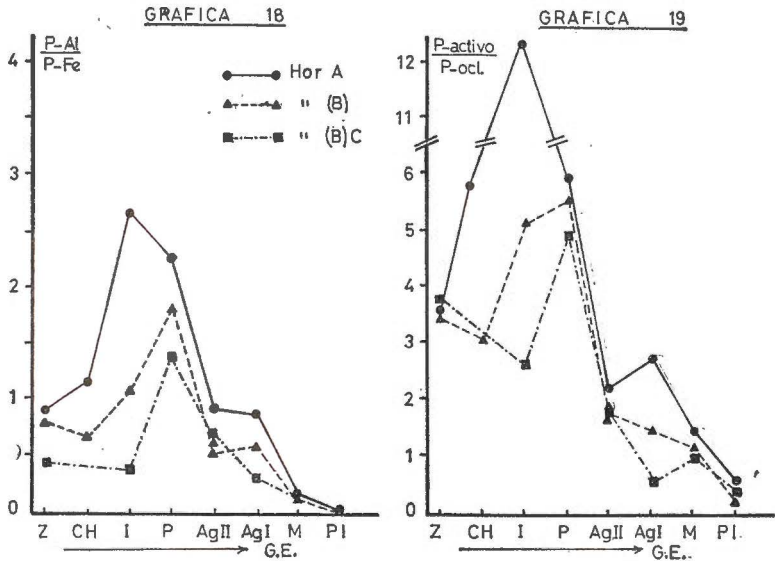
Los máximos que se presentan en ambas gráficas (18, 19) ya han sido comentados y discutidos anteriormente.

Hemos analizado hasta ahora las cuatro fracciones principales del fraccionamiento de los fosfatos inorgánicos. Como vimos en la introducción a este artículo, existen ciertas reservas a la hora de considerar

como perfectamente delimitadas las fracciones P-Al y P-Fe, por lo que muchos autores prefieren distinguir simplemente las fracciones:

- Fósforo de calcio (P-Ca).
- Fósforo no ocluido (P-Al + P-Fe).
- Fósforo ocluido,

ya que, a la vez que se simplifica el análisis de los datos, se elimina el problema de la diferenciación de los fosfatos de aluminio y hierro.



A este respecto, quisiéramos llamar la atención de las ventajas y posibilidades que podría aportar la utilización sistemática, en este tipo de estudios, del diagrama triangular para presentar las tres fracciones citadas. Así, podríamos distinguir en dicho diagrama dos tendencias diferentes a medida que va evolucionando un suelo.

Por una parte, la fracción P-Ca, que en la mayoría de los suelos es la fuente de fósforo, disminuye rápidamente con la alteración, esto es, se seguiría la tendencia señalada en la figura 20a.

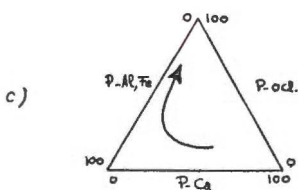
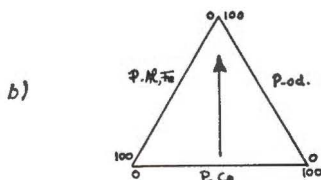
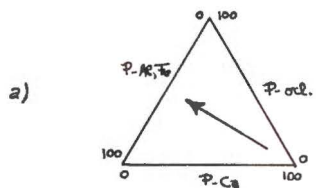
Por otra parte, cuando entran en juego las formas secundarias de fósforo, hay una tendencia a evolucionar las formas activas de aluminio y hierro a formas ocluidas, aumentando pues estas últimas con el grado de evolución (fig. 20b).

Por lo que la suma de las dos tendencias nos daría una resultante del tipo de la figura 20c.

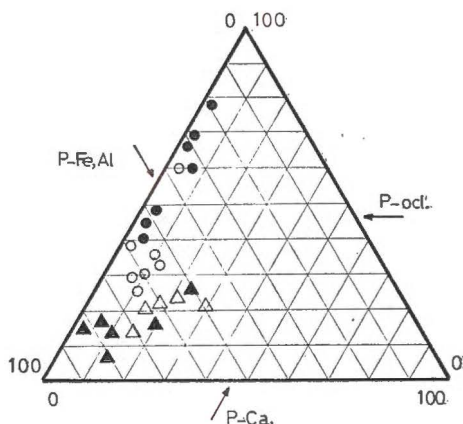
La representación de nuestros datos en este tipo de diagrama, evidencia su posible aplicación en este sentido (gráfica 21) y nos permite afirmar, con bastante probabilidad, que del estudio de un gran número de suelos utilizando este diagrama triangular para representar las tres fracciones de fosfatos inorgánicos comentadas, podrían delimitarse zonas.

que nos diesen información, si bien de una manera no muy precisa, sobre el grado de evolución de un suelo dado (Walker, 1976).

GRAFICA 20



GRAFICA 21



- △ VA.
- ▲ VA. EV.
- DA.
- I.A.T.

RESUMEN

El estudio de las diversas fracciones de fosfatos inorgánicos, extraídos por el método Chang-Jackson (P-Ca, P-Al, P-Fe, P-ocluido), con relación al grado de alteración de los suelos (andosoles) presentan las siguientes tendencias:

1. Las fracciones P-Ca y P-Al disminuyen al aumentar la alteración, presentando los fosfatos de aluminio un máximo correspondiente a los Vitrandepts evolucionados.
2. La fracción P-Fe no presenta grandes variaciones, excepto en el perfil Manantiales con un porcentaje superior al resto de los suelos.
3. El P-ocluido muestra una tendencia a aumentar con el grado de alteración de los suelos.

Se cumple la hipótesis de Chang-Jackson en el sentido de que las diferentes formas inorgánicas de fósforo siguen con la evolución de los suelos, la secuencia: P-Ca, P-Al, P-Fe, P-ocluido

BIBLIOGRAFÍA

- AL-ABBAS, A. H. y BARBER, J. A. (1964). Soil test for phosphorus based upon fractionation of soil phosphorus. Correlation of soil phosphorus fractions with plant available phosphorus. *Soil Sci. Am. Proc.*, 28, 218-221.
- BAUWIN, G. R. y TYNER, E. H. (1957). The nature of reductant-soluble phosphorus in soils and soil concretions. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 21, 250-257.
- CABEZAS VIAÑO, O. (1975). Estudio mineralógico de Andosoles de las Islas Canarias. Tesis doctoral, Universidad de La Laguna.
- CHANG, S. C. y JACKSON, M. L. (1958). Soil phosphorus fractions in some representative soils. *J. Soil Sci.*, 9 (1), 109-119.
- CHANG, S. C. y JUO, S. R. (1963). Available phosphorus in relation to forms of phosphate in soils. *Soil Sci.*, 95, 91-96.
- CHIRIKOV, F. V. (1939). A method of estimating the forms of phosphate in soils. *Khimizataiya* núm. 10-11.
- DAHNEKE, W. C., MALCOLM, J. L. y MENÉNDEZ, M. E. (1964). Phosphorus fractions in selected soils profiles of El Salvador in relation to their development. *Soil Sci.*, 94, 33-38.
- DEAN, L. A. (1938). An attempted fractionation of soil phosphorus. *J. Agric. Sci.*, 28, 234-246.
- FERNÁNDEZ CALDAS, E. y TEJEDOR SALGUERO, M. L. (1975). Andosoles de las Islas Canarias. Caja General de Ahorros, Santa Cruz de Tenerife.
- GAUCHER, G. (1973). Ed. Omega. El suelo y sus características agronómicas.
- GHANI, M. O. y ALEEN, S. A. (1943). Fractionation of soil phosphorus. *J. Agric. Sci.*, 13, 142-147.
- GODFREY, C. L. and RIECKEN, F. F. (1954). Distribution of phosphorus in some genetically related leess-derived soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 18, 80-84.
- Hsu, P. H. y JACKSON, M. L. (1960). Inorganic phosphate transformations by chemical weathering in soils as influenced by pH. *Soil Sci.*, 90, 16-24.
- PÉREZ MÉNDEZ, J. A. (1978). Fraccionamiento de los fosfatos inorgánicos en Andosoles de las Islas Canarias. *An. Edaf.* (En prensa.)
- WALKER, T. W. y ADAMS, A. F. R. (1958). Studies on soil organic matter. I. Influence of phosphorus content of parent materials on accumulations of carbon, nitrogen, sulphur and organic phosphorus in grassland soils. *Soil Sci.*, 85.
- WALKER, T. W. (1964). In *Experimental Pedology*. E. G. Hallsworth and D. V. Grawford. Ed. London.
- WALKER, T. W. y SYERS, J. K. (1976). The fate of phosphorus during pedogenesis. *Geoderma*, 16, 1-19.
- WESTIN, C. F. y DE BRITO, J. G. (1969). Phosphorus fractions of some Venezuelan soils as related to their stage of weathering. *Soil Sci.*, 107, 194-202.
- WILLIAMS, J. D. H. y WALKER, T. W. (1969). Fractionation of phosphate in a maturity sequence of New Zealand basaltic soils profiles. II. *Soil Sci.*, 107, 213-219.
- WILLIAMS, C. H. (1950). Studies on soil phosphorus. I. *J. Agric. Sci.*, 40, 233-242.

Recibido para publicación: 11-IV-78

CONTRIBUCION AL ESTUDIO DE LOS SUELOS DE ALTA MONTAÑA SOBRE ROCAS CARBONATADAS

por

L. J. ALIAS y J. HERNANDEZ

SUMMARY

CONTRIBUTION TO THE STUDY OF HIGH MOUNTAIN SOILS ON CARBONATE ROCKS

In the present work is exposed the macromorphologic, analytical and environmental study of twenty two soil profiles developed on consolidated carbonate rocks from different orographic formations of the Peninsula.

Their great geographical dispersion implies a great variety in the environmental and climatic conditions, as well as in the typology of soils, that belong to the Entisols, Inceptisols, Mollisols (Rendolls, Xerolls and Borolls) and Histosols Orders.

All of them have a high content in organic matter, well or relatively well humified, up to the point that some of the soil profiles have O horizons. The soils belonging to the Entisols, Inceptisols and Histosols Orders, as well as those of the Borolls suborder and the Ultic Haploxerolls, usually are free of carbonates or nearly so, while the Rendolls and the Lithic Haploxerolls are highly calcareous in all their horizons. The exchange complex of the soils studied is moderately to highly saturated and calcium usually is the dominant exchangeable cation.

Taking into account the macromorphological characteristics, the analytical results and the environmental conditions, the soils here studied are classified in the following way:

Entisols Order: Lithic Xerorthent, Sierra Guillemona.

Inceptisols Order: Typic Cryochrept, Picos de Urbión. Lithic Eutrochrept, Cordillera Cantábrica. Calcixerollic Lithic Xerochrept, Sierra Espuña.

Mollisols Order: Typic Rendoll, Montes Universales. Lithic Rendoll, Montes Universales. Lithic Haploxeroll, Sierra del Carche, Sierra Espuña, Revolcadores, Sierra Guillemona, Sierra de Cazorla, La Sagra and Sierra de Baza. Ultic Haploxeroll, Calar del Mundo and Sierra Guillemona. Lithic Haploboroll, Cordillera Cantábrica and Montes Universales.

Histosols Order: Lithic Cryofolist, Picos de Europa.

INTRODUCCIÓN

El estudio de los suelos de montaña tiene un interés especial, por cuanto es en montaña donde resulta más probable la existencia de perfiles de suelos en cuyo desarrollo haya participado únicamente el material litológico subyacente, siendo, por tanto, muy valiosos para el estu-

dio de los cambios químicos y mineralógicos que acompañan a los procesos de edafogénesis.

En el presente trabajo se recogen los datos analíticos generales, la macromorfología y las características ambientales de diversos suelos formados a partir de rocas carbonatadas consolidadas, en su mayor parte calizas de alto grado de pureza y, en ocasiones, calizas dolomíticas, correspondientes a distintas formaciones orográficas de la Península, como son la Cordillera Cantábrica, Picos de Urbión, Montes Universales, Sierra de Baza, etc., para, en posteriores trabajos, pasar al estudio más específico de la mineralogía de la fracción arcilla de dichos suelos en relación con la de las rocas carbonatadas subyacentes.

CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES

Como corresponde a la dispersión geográfica que presentan los perfiles estudiados, las condiciones climáticas son muy diversas. De forma simplificada y atendiendo a la división climatológica de España de Lautensach (1967), se pueden agrupar en tres zonas fundamentales:

1.^a Una zona septentrional, correspondiente a los perfiles situados más al Norte de la Península y a la que Lautensach (1967) da la fórmula climática $I_f A_2 \phi H_1/H_4$, es decir, perteneciente a la zona periférica de España (ϕ), siempre húmeda (I_f), con clima atlántico moderado (A_2) y en donde se presentan alturas comprendidas entre menos de 500 metros hasta 2.500 metros. A esta zona pertenecen los perfiles núms. 3, 19, 21 y 22, de la Cordillera Cantábrica.

2.^a Una zona central en la que, dada su amplitud, aparecen algunas diversidades que diferencian una subzona hacia el Norte y otra hacia el Sureste, definidas por Lautensach como $S t_1 A_2 z H_2/H_3$ y $S t_1 L_2 z H_1/H_3$, respectivamente. O sea pertenecen ambas al área central de la Península (z), con débil sequía en verano ($S t_1$) y mientras la primera presenta clima atlántico moderado (A_2), la segunda lo tiene levantino moderado (L_2), observándose en ellas alturas comprendidas entre 500 a 2.500 metros y de menos de 500 hasta 2.500 metros, respectivamente. A la primera de estas subzonas corresponde el perfil núm. 2 (Picos de Urbión), mientras que a la segunda pertenecen los perfiles núms. 5, 6, 7 y 20 (Montes Universales).

3.^a Una zona meridional situada al Sur-Sureste de la Península y en la que se pueden distinguir asimismo dos subzonas denominadas por Lautensach (1967) Alta Andalucía —la parte más meridional— y Región del Segura —parte más al sureste—, a las que da la fórmula climática $S t_3 L_2 \phi H_1/H_4$ y $S t_3 L_1 \phi H_1/H_3$, respectivamente, es decir, corresponden a la orla periférica de la Península (ϕ), con veranos fuertemente secos ($S t_3$) y mientras la primera presenta clima levantino moderado (L_2), la segunda lo presenta totalmente levantino (L_1), y con altitudes comprendidas entre los 500 a más de 2.500 metros y entre menos de 500 y 2.500 metros respectivamente. A la Alta Andalucía pertenecen los perfiles núms. 1, 8, 9, 12, 13, 14 y 18 (Sierras de Baza, Cazorla, Guillemona y La Sagra) y a la Región del Segura los perfiles núms. 4, 10, 11, 15, 16 y 17 (Sierras de Espuña, Revolcadores, Carche y Calar del Mundo).

Con ayuda de los datos climáticos correspondientes a diversos observatorios próximos a los lugares de toma de perfiles, recogidos en varias publicaciones (Montero y González Rebollar, 1974; De León, Forteza del Rey, De las Casas y Lovera, 1974; Saura y Ferreras, 1976), y, teniendo en cuenta el incremento que experimenta la pluviosidad con el aumento de altura así como la disminución de temperatura en el mismo sentido, se ha considerado, a efectos de clasificación, la existencia de un régimen de humedad údico para los perfiles situados en la mitad septentrional de la Península y un régimen xérico para los de la meridional, mientras que el régimen de temperatura presenta variaciones más acentuadas, que van desde el régimen cálido considerado para algunos de los perfiles de la zona más septentrional y de mayor altitud hasta el régimen frío de algunas de las montañas de la Región del Segura, pasando por toda la parte central y de la Alta Andalucía, en que es el régimen frígido el que se presenta de forma casi general.

Esta gran diversidad de condiciones climáticas ejerce su influencia, como es lógico, en el desarrollo vegetal, conduciendo a la formación de comunidades vegetales que son, asimismo, muy diferentes entre sí.

En las tablas I, II y III se resumen las características macromorfológicas más destacadas de los perfiles estudiados, siguiendo la Guía para la descripción de perfiles de suelos de la FAO y utilizando la simbología recomendada en el Soil Survey Manual (1951), así como los resultados analíticos de los mismos.

INTERPRETACIÓN Y COMENTARIOS

Teniendo en cuenta las condiciones climáticas, en cuanto a regímenes de humedad y temperatura se refiere, así como las características macromorfológicas y los resultados analíticos expuestos en las tablas I, II y III, se ha realizado la clasificación de los suelos según la Soil Taxonomy (1975).

Los suelos estudiados pertenecen a los Ordenes Entisoles, Inceptisoles, Mollisoles e Histosoles y, agrupados de acuerdo con estas unidades jerárquicas superiores, haremos a continuación los comentarios correspondientes.

Entisoles

El único suelo perteneciente a este Orden es el Xerorthent lítico de la Sierra Guillemona (perfil núm. 1). Se trata de un suelo muy incipiente, con un horizonte A muy escasamente desarrollado, con un espesor menor de los 10 cm., muy bien provisto en materia orgánica bastante bien humificado, que no llega a ser un horizonte 0 por su contenido en arcilla (24,8 por 100), y con un elevado grado de saturación, a pesar de que está casi totalmente descarbonatado, es decir, un horizonte A que no llega a constituir un epipedón móllico tan sólo por su pequeño espesor y que descansa directamente sobre la roca caliza.

TABLA I
Macromorfología de los perfiles

Hor.	Prof. (cm.)	Color	Estructura	Consistencia	Pen- diente (%)	Altitud (m.)
<i>Perfil núm. 1 (Sierra Guillemona), Xerorthent lítico</i>						
A	0 — 8	10 YR 3/1 (M) 10 YR 3/1,5 (D)	crvf	wss, wps, mfr ds	Nula	1.765
<i>Perfil núm. 2 (Picos de Urbión), Criochrept típico</i>						
A1	0 — 7	7,5 YR 3/2 (M) 7,5 YR 3,5/2 (D)	crm	wso, wps, mvfr, ds	20	1 600
B1	7 — 16	5 YR 3/3,5 (M) 7,5 YR 4/2 (D)	sbkf	wss, wps, mfr, dsh	»	»
B2	16 — 41	5 YR 3/3,5 (M) 5 YR 4/2 (D)	»	» » » »	»	»
B3	41 — 56	5 YR 4/4 (M) 7,5 YR 5,5/4 (D)	sbkc	ws, wps, mfr a mfi, dh	»	»
C1	56 — 77	7,5 YR 4/2 (M) 10 YR 5/3 (D)	m a sbkf	ws, wps, mfr, dh	»	»
C2g	+ 77	10 YR 4/3 (M) 10 YR 5/4 (D)	m	ws, wps, mfr, deh	»	»
<i>Perfil núm. 3 (Cordillera Cantábrica), Eutrochrept lítico</i>						
A1	0 — 4	10 YR 3/4 (M) 10 YR 6/3 (D)	crvf	wss, wps, mfr, dh	30	1.490
B21	4 — 16	10 YR 4,5/3 (M) 10 YR 5/4 (D)	sbkf	ws, wp, mfr, dvh	»	»
B22R	16 — 26	10 YR 3,5/3 (M) 10 YR 6/3 (D)	sbkfvf	ws, wp, mfi, deh	»	»
<i>Perfil núm. 4 (Sierra Espuña), Xerochrept lítico calcixerólico</i>						
A	0 — 8	5 YR 3/2 (M) 7,5 YR 3,5/2 (D)	crf	wss, wps, mvfr, ds	2	1.520
B21	8 — 15	5 YR 4/3 (M) 5 YR 4/4 (D)	sbkf	» » » »	»	»
B22ca	15 — 33	5 YR 4/4 (M) 5 YR 4/6 (D)	»	wss, wps, mvfr, dl	»	»
<i>Perfil núm. 5 (Montes Universales), Rendoll típico</i>						
A11	0 — 16	10 YR 2,5/1 (M) 10 YR 2,5/2 (D)	crf	wso, wps, mvfr, dl	Nula	1.680
A12	16 — 27	10 YR 3/1 (M) 10 YR 3/2 (D)	»	» » » »	»	»

T A B L A I (continuación)

Hor.	Prof. (cm.)	Color	Estructura	Consistencia	Pen- diente (°/0) ²	Altitud. (m.)
A12C	27-48	10 YR 4/2 (M) 10 YR 5/2 (D)	crf	wso, wpo, mvfr, dl	Nula	1.680
C	+ 48	10 YR 4/3 (M) 10 YR 6,5/3 (D)	0	» » » »	»	»
<i>Perfil núm. 6 (Montes Universales), Rendoll típico</i>						
A1	0-12	10 YR 2,5/1 (M) 10 YR 3,5/1 (D)	crvf	wso, wps, mvfr, dl	2	1.620 ³
A1C	12-32	10 YR 3,5/2 (M) 10 YR 4,5/2 (D)	»	» wpo, » »	»	»
C	+ 32	10 YR 6/3 (M) 10 YR 7/3 (D)	0	» » » »	»	»
<i>Perfil núm. 7 (Montes Universales), Rendoll lítico</i>						
A1	0-15	10 YR 2/1 (M) 10 YR 3,5/1 (D)	crvf	wso, wps, mfr, dl	Nula	1.820 ³
<i>Perfil núm. 8 (Sierra Guillemona), Haploxeroll lítico</i>						
A	0-18	7,5 YR 3/2 (M) 7,5 YR 4/3 (D)	crm	wss, wps, mvfr, dsh	5	1.750 ³
B1	18-22	5 YR 3,5/2 (M) 5 YR 4/2 (D)	»	» » » ds	»	»
B2	22-38	5 YR 4,5/6 (M) 5 YR 4,5/8 (D)	»	» » mfi, dsh	»	»
C	+ 38	—	0	wso, wpo, ml, dl	»	»
<i>Perfil núm. 9 (Sierra Guillemona), Haploxeroll lítico</i>						
A	0-15	5 YR 3/1 (M) 5 YR 2,5/2 (D)	crf	wso, wps, mvfr, ds	20	1.650 ³
<i>Perfil núm. 10 (Sierra de Revolvedores), Haploxeroll lítico</i>						
O1	18-0	10 YR 2/1,5 (M) 10 YR 2,5/2 (D)	crvf	wso, wps, mvfr, ds	Nula	1.990 ³
A & R	0-42	10 YR 5,5/3 (M) 10 YR 6,5/3 (D)	0	wss, » » dl	»	»
<i>Perfil núm. 11 (Sierra de Revolvedores), Haploxeroll lítico</i>						
A1	0-10	10 YR 2/2 (M) 10 YR 3/1,5 (D)	crvf	wso, wps, mvfr, dl	Nula	1.990 ³
<i>Perfil núm. 12 (Sierra de Cazorla), Haploxeroll lítico</i>						
A	0-14	10 YR 2/2 (M) 10 YR 4/2 (D)	crf	wso, wpo, ml, ds	20	2.015 ³
B	14-25	10 YR 4/2 (M) 10 YR 5/2 (D)	»	» » » dl	»	»

TABLA I (continuación)

Hor.	Prof. (cm.)	Color	Estructura	Consistencia	Pen- diente (%)	Altitud (m.)
<i>Perfil núm. 13 (Sierra de la Sagra), Haploxeroll lítico</i>						
A11	0 --15	10 YR 2/1 (M) 10 YR 3,5/1 (D)	crf	wss, wps, mfr, ds	Nula	1.620
A12	15--30	10 YR 2/2 (M) 10 YR 4,5/1 (D)	sbkvf	» » » dh	»	»
<i>Perfil núm. 14 (Sierra de Baza), Haploxeroll lítico</i>						
A11	0 --14	10 YR 2/2 (M) 7,5 YR 4/2 (D)	crvf	wss, wps, mvfr, ds	Nula	2.060
A12	14--27	10 YR 2/2 (M) 7,5 YR 4,5/2 (D)	»	» » » »	»	»
<i>Perfil núm. 15 (Sierra Espuña), Haploxeroll lítico</i>						
O2	12-- 0	5 YR 2/1 (M) 5 YR 2/2 (D)	crvf	wss, wps, mfr, ds	2	1.540
<i>Perfil núm. 16 (Sierra del Carche), Haploxeroll lítico</i>						
A11	0 --18	10 YR 2/1,5 (M) 10 YR 2,5/2 (D)	crvf	wso, wps, mvfr, ds	2	1.370
A12	18--32	10 YR 2/1,5 (M) 10 YR 2,5/2 (D)	»	» » » »	»	»
<i>Perfil núm. 17 (Calar del Río Mundo), Haploxeroll últico lítico</i>						
A1	0 --25	5 YR 2,5/2 (M) 7,5 YR 3,5/2 (D)	crf	wss, wps, mvfr, ds	20	1.400
A3	25--31	5 YR 3/2 (M) 7,5 YR 4,5/2 (D)	crc	» » mfr, dh	»	»
B2	31--44	5 YR 3/4 (M) 7,5 YR 4,5/4 (D)	sbkvf	ws, » mfi, dvh	»	»
B y R	+ 44	5 YR 4/3,5 (M) 7,5 YR 4/4 (D)	0	— — — —	»	»
<i>Perfil núm. 18 (Sierra Guillemona), Haploxeroll últico fluvéntico</i>						
A11	0 -- 7	5 YR 3/2 (M) 7,5 YR 3/2 (D)	crvf	wso, wps, mvfr, dsh	2	1.705
A12	7 --17	7,5 YR 3/2 (M) 7,5 YR 3,5/2 (D)	»	» » » »	»	»
B1	17--27	7,5 YR 3,5/2 (M) 5 YR 3/3,5 (D)	sbkf	» » » »	»	»
B21	27--41	7,5 YR 4/2 (M) 5 YR 3,5/4 (D)	sbkm	» » » dh	»	»
B22	41--59	5 YR 3/3 (M) 5 YR 3/4 (D)	»	» » mfr, dvh	»	»
B23	59--85	5 YR 4/2 (M) 7,5 YR 4/3 (D)	»	» » » »	»	»

T A B L A I (continuación)

Hor.	Prof. (cm.)	Color	Estructura	Consistencia	Pen- diente (%)	Altitud (m.)
<i>Perfil núm. 19 (Cordillera Cantábrica), Haploboroll lítico</i>						
A1	0 — 10	7,5 YR 3/2 (M) 10 YR 4,5/3 (D)	erf	wss, wps, mfr, dsh	70	1.320
B21	10 — 27	5 YR 3/2 (M) 10 YR 5/3 (D)	sbk\vf	» » » »	»	»
B22R	27 — 45	10 YR 5/3 (M) 10 YR 5,5/3 (D)	sbkf	» » mvfr, »	»	»
<i>Perfil núm. 20 (Montes Universales), Haploboroll lítico</i>						
A1	0 — 20	10 YR 2/2 (M) 7,5 YR 3/2 (D)	crvf	wss, wps, mvfr, ds	Nula	1.770
B	+ 20	7,5 YR 3/3 (M) 7,5 YR 4/2 (D)	sbk\vf	» wp, » dh	»	»
<i>Perfil núm. 21 (Cordillera Cantábrica), Haploboroll údico</i>						
O1	27 — 22	10 YR 2/1 (M) 10 YR 2/2 (D)	0	wso, wps, mvfr, ds	Nula	1.540
O2	22 — 0	10 YR 2/1 (M) 10 YR 3/1 (D)	crvf	» » » »	»	»
A1	0 — 33	10 YR 2/2 (M) 10 YR 3/2 (D)	sbkf	wss, » » dsh	»	»
B2	+ 33	5 YR 3/1,5 (M) 10 YR 3/3,5 (D)	sbk\vf	» » mfr, »	»	»
<i>Perfil núm. 22 (Picos de Europa), Criofolist lítico</i>						
O	10 — 0	5 YR 2/1 (M) 5 YR 2/2 (D)	crvf	wss, wps, mvfr, dl	Nula	1.880

Aun cuando solamente se estudia un perfil de esta tipología, conviene señalar que los Xerorthent líticos son suelos abundantes en las sierras calizas españolas, puesto que, en definitiva, corresponden a una formación edáfica inicial muy frecuente en alta montaña.

Inceptisoles

Adscribimos a este Orden los suelos representados por los perfiles números 2, 3 y 4, que corresponden, respectivamente, a un Criochrept típico de los Picos de Urbión, un Eutrochrept lítico de la Cordillera Cantábrica y un Xerochrept lítico calcixerólico de Sierra Espuña, que poseen, como características comunes, un perfil de tipo A-B-R o A-B-C, con un epipedon ócrico y un horizonte cámbico.

TABLA II

Resultados analíticos generales de los perfiles

Hor.	Prof. (cm.)	% C org.	N mgr./ 100 gr.	C/N	% CO ₂ Ca		pH		CO ₂ Ca/ CO ₂ Mg
					Equiv.	Act.	H ₂ O	ClK	
<i>Perfil núm. 1 (Sierra Guillemona), Xerorthent lítico</i>									
A	0 — 8	13,98	1.202,1	11,6	0,43	—	6,80	6,40	
R	+ 8	—	—	—	95,65	—	—	—	84,05
<i>Perfil núm. 2 (Picos de Urbión), Criochept típico</i>									
A1	0 — 7	6,76	540,2	12,5	—	—	6,40	5,40	
B1	7 — 16	3,72	357,3	10,4	—	—	5,70	4,45	
B2	16 — 41	2,53	226,5	11,2	—	—	5,40	4,20	
B3	41 — 56	0,49	80,9	6,0	—	—	5,45	4,20	
C1	56 — 77	0,45	119,5	3,7	—	—	5,50	4,20	
C2g	+ 77	0,31	105,1	2,9	—	—	6,42	5,10	
R	—	—	—	—	85,73	—	—	—	78,65
<i>Perfil núm. 3 (Cordillera Cantábrica), Eutrochept lítico</i>									
A1	0 — 4	8,52	743,7	11,5	—	—	4,10	3,40	
B21	4 — 16	3,88	380,8	10,2	—	—	4,80	3,90	
B22R	16 — 26	3,25	359,8	9,0	—	—	6,70	5,95	
R	+ 26	—	—	—	88,71	—	—	—	18,14
<i>Perfil núm. 4 (Sierra Espuña), Xerochept lítico calcixerólico</i>									
A	0 — 8	8,72	867,1	10,0	5,63	5,24	7,50	6,90	
B21	8 — 15	1,99	372,0	5,3	13,56	5,24	7,75	7,05	
B22ca	15 — 33	0,83	260,2	3,2	20,04	5,69	7,80	7,10	
R	+ 33	—	—	—	98,78	—	—	—	58,45
<i>Perfil núm. 5 (Montes Universales), Rendoll típico</i>									
A11	0 — 16	7,99	757,9	10,5	37,97	5,50	7,50	6,90	
A12	16 — 27	4,05	424,4	9,5	54,83	6,97	7,60	6,90	
A12C	27 — 48	1,46	166,7	8,7	94,74	5,63	7,70	7,10	
C	+ 48	—	—	—	60,18	—	—	—	1,52
<i>Perfil núm. 6 (Montes Universales), Rendoll típico</i>									
A1	0 — 12	10,24	842,8	12,1	44,46	6,27	7,20	6,75	
A1C	12 — 32	2,96	357,7	6,2	84,39	4,54	7,55	7,00	
C	+ 32	—	—	—	61,29	—	—	—	1,73
<i>Perfil núm. 7 (Montes Universales), Rendoll lítico</i>									
A1	0 — 15	6,81	553,5	12,3	24,20	8,31	7,30	6,75	
R	+ 15	—	—	—	99,83	—	—	—	

T A B L A I I (continuación)

Hor.	Prof. (cm.)	‰ C org.	N mgr./ 100 gr.	C/N	‰ CO ₃ Ca		pH		CO ₃ Ca/ CO ₃ Mg
					Equiv.	Act.	H ₂ O	ClK	
<i>Perfil núm. 8 (Sierra Guillemona), Haploxeroll lítico</i>									
A	0 18	3,65	359,0	10,2	1,39	1,32	7,20	6,55	
B1	18—22	1,69	192,8	8,7	13,44	2,43	7,40	6,80	
B2	22—38	0,85	127,2	6,7	1,22	1,22	7,50	6,55	
C	+ 38	0,63	95,6	6,6	22,78	7,80	7,70	7,00	
R		—	—	—	95,65	—	—	—	84,05
<i>Perfil núm. 9 (Sierra Guillemona), Haploxeroll lítico</i>									
A	0 —15	4,15	411,3	10,0	0,72	0,70	8,18	7,10	
R	+ 15	—	—	—	—	—	—	—	83,89
<i>Perfil núm. 10 (Sierra de Revolcadores), Haploxeroll lítico</i>									
O1	18— 0	13,23	1.045,9	12,6	10,98	7,42	7,20	6,70	
A & R	0 —42	3,08	425,9	7,2	63,63	12,15	7,60	7,30	
R	+ 42	—	—	—	97,15	—	—	—	45,61
<i>Perfil núm. 11 (Sierra de Revolcadores), Haploxeroll lítico</i>									
A1	0 —10	9,12	806,4	11,3	17,64	6,52	7,25	6,80	
R	+ 10	—	—	—	97,15	—	—	—	45,61
<i>Perfil núm. 12 (Sierra de Cazorra), Haploxeroll lítico</i>									
A	0 —14	7,92	713,0	11,1	59,54	3,07	7,30	6,90	
B	14—25	2,55	415,5	6,1	74,51	3,77	7,55	7,10	
R	+ 25	—	—	—	56,40	—	—	—	1,28
<i>Perfil núm. 13 (Sierra de la Sagra), Haploxeroll lítico</i>									
A11	0 —15	8,71	748,3	11,6	43,59	13,37	7,05	6,50	
A12	15—30	6,27	660,4	9,4	52,74	16,12	7,40	6,90	
R	+ 30	—	—	—	97,70	—	—	—	
<i>Perfil núm. 14 (Sierra de Baza), Haploxeroll lítico</i>									
A11	0 —14	12,47	1.109,6	11,2	1,44	—	7,10	6,60	
A12	14—27	5,23	530,5	9,8	2,33	—	7,20	6,70	
R	+ 27	—	—	—	94,09	—	—	—	41,10
<i>Perfil núm. 15 (Sierra Espuña), Haploxeroll lítico</i>									
O2	12— 0	14,93	1.241,9	12,0	10,54	8,31	7,50	7,10	
R		—	—	—	98,78	—	—	—	58,44
<i>Perfil núm. 16 (Sierra del Carche), Haploxeroll lítico</i>									
A11	0 —18	11,98	1.024,7	11,9	20,12	6,27	7,70	7,20	
A12	18—32	10,20	935,7	10,9	26,93	7,10	7,70	7,20	
R	+32	—	—	—	58,87	—	—	—	1,43

TABLA II (continuación)

Hor.	Prof. (cm.)	% C org.	N mgr./ 100 gr.	C/N	% CO ₂ Ca		pH		CO ₂ Ca/ CO ₂ Mg
					Equiv.	Act.	H ₂ O	ClK	
<i>Perfil núm. 17 (Calar del Río Mundo), Haploxeroll últico lítico</i>									
A1	0 — 25	5,83	572,5	10,2	—	—	5,90	5,05	
A3	25 — 31	2,03	330,9	6,2	—	—	6,50	5,40	
B2	31 — 44	1,24	224,6	5,5	—	—	6,45	5,35	
B y R	+ 44	0,97	200,2	4,8	25,49	3,71	7,80	7,00	
R	—	—	—	—	97,24	—	—	—	37,54
<i>Perfil núm. 18 (Sierra Guillemona), Haploxeroll últico fluvéntico</i>									
A11	0 — 7	3,91	357,2	10,9	0,24	0,06	7,80	7,02	
A12	7 — 17	0,93	128,3	7,2	—	—	7,20	6,10	
B1	17 — 27	0,70	129,1	5,4	—	—	6,10	4,85	
B21	27 — 41	0,33	97,1	3,4	—	—	5,75	4,70	
B22	41 — 59	0,37	77,3	4,8	—	—	6,62	4,85	
B3	59 — 85	0,44	85,0	5,2	—	—	6,70	5,30	
R	+ 85	—	—	—	88,58	—	—	—	82,02
<i>Perfil núm. 19 (Cordillera Cantábrica), Haploboroll lítico</i>									
A1	0 — 10	5,70	491,4	11,6	0,20	—	5,90	5,50	
B21	10 — 27	3,36	365,8	9,2	3,28	0,06	6,80	6,40	
B22R	27 — 45	1,53	245,1	6,2	0,21	0,09	7,20	6,70	
R	+ 45	—	—	—	99,90	—	—	—	
<i>Perfil núm. 20 (Montes Universales), Haploboroll lítico</i>									
A1	0 — 20	9,33	845,8	11,0	0,39	—	7,30	6,65	
B	+ 20	3,90	409,3	9,5	0,42	—	7,40	6,55	
R	—	—	—	—	94,19	—	—	—	40,95
<i>Perfil núm. 21 (Cordillera Cantábrica), Haploboroll údico</i>									
O1	27 — 22	26,08	2.178,6	11,9	0,21	—	6,40	6,20	
O2	22 — 0	14,77	1.711,9	8,6	0,53	—	7,10	6,60	
A1	0 — 33	5,10	846,0	6,0	0,35	—	7,00	6,55	
B2	+ 33	3,16	660,9	4,8	0,42	—	7,20	6,70	
R	—	—	—	—	99,90	—	—	—	
<i>Perfil núm. 22 (Picos de Europa), Criofolíst lítico</i>									
O	10 — 0	24,25	2.033,9	11,9	—	—	6,25	5,60	
R	—	—	—	—	97,68	—	—	—	111,40

TABLA III

Complejo de cambio (meq/100 grs.) de los perfiles

Hor.	Prof. (cm.)	Ca	Mg	Na	K	Al	H	S	T	V
<i>Perfil núm. 1 (Sierra Guillemona), Xerorthent lítico</i>										
A	0 — 8	44,70	1,74	1,02	2,36	—	1,91	49,86	50,97	97,80
<i>Perfil núm. 2 (Picos de Urbión), Criochrept típico</i>										
A1	0 — 7	16,51	0,86	0,49	0,55	0,06	11,51	18,41	29,08	63,30
B1	7 — 16	6,36	0,16	0,44	0,21	0,29	12,99	7,17	21,29	33,67
B2	16—41	4,17	0,07	0,46	0,18	0,86	14,50	4,88	18,99	25,70
B3	41—56	3,35	0,07	0,44	0,16	0,99	8,58	3,92	12,96	30,25
C1	56—77	1,73	0,09	0,74	0,18	0,55	8,60	2,74	10,60	25,85
C2g	+ 77	5,08	0,12	0,82	0,19	—	3,82	6,21	8,54	72,71
<i>Perfil núm. 3 (Cordillera Cantábrica), Eutrochrept lítico</i>										
A1	0 — 4	10,23	0,61	0,78	0,76	1,61	15,85	12,38	29,51	41,45
B21	4 — 16	7,48	0,06	0,92	0,38	0,06	11,84	8,84	19,26	45,90
B22R	16—26	8,89	0,08	0,76	0,38	—	5,03	10,11	16,15	62,60
<i>Perfil núm. 4 (Sierra Espuña), Xerochrept lítico calcixerólico</i>										
A	0 — 8	50,21	1,51	0,93	1,79	—	3,24	54,44	56,64	96,12
B21	8 — 15	33,35	0,62	0,89	1,49	—	2,50	36,35	41,12	88,40
B22ca	15 — 33	29,47	0,56	0,93	1,51	—	2,09	32,47	32,73	99,20
<i>Perfil núm. 5 (Montes Universales), Rendoll típico</i>										
A11	0 — 16	38,99	6,10	0,48	0,42	—	3,72	45,99	50,75	90,72
A12	16—27	20,90	3,34	0,44	0,48	—	2,77	25,16	27,54	91,85
A12C	27—48	7,56	0,86	0,45	0,15	—	0,76	9,02	8,69	103,79
<i>Perfil núm. 6 (Montes Universales), Rendoll típico</i>										
A1	0 — 12	38,70	4,97	0,44	0,40	—	4,01	44,51	48,83	91,15
A1C	12—32	18,55	2,42	0,36	0,19	—	2,10	21,52	24,24	88,77
<i>Perfil núm. 7 (Montes Universales), Rendoll lítico</i>										
A1	0 — 15	61,29	0,65	0,44	1,33	—	1,05	63,71	63,07	101,00
<i>Perfil núm. 8 (Sierra Guillemona), Haploxeroll lítico</i>										
A	0 — 18	23,05	0,20	0,73	0,89	—	1,91	24,87	25,10	99,08
B1	18—22	22,83	0,22	0,95	0,42	—	1,89	24,42	24,59	99,30
B2	22—38	21,83	0,20	0,92	0,42	—	1,89	23,37	23,68	98,69
C	+ 38	19,64	0,05	0,97	0,29	—	—	20,95	20,41	102,64

TABLA III (continuación)

Hor.	Pror. (cm.)	Ca	Mg	Na	K	Al	H	S	T	V
<i>Perfil núm. 9 (Sierra Guillemona), Haploxeroll lítico</i>										
A	0 — 15	32,13	0,36	0,48	0,37	—	1,99	33,34	33,93	98,26
<i>Perfil núm. 10 (Sierra de Revolvedores), Haploxeroll lítico</i>										
O1	18 — 0	63,27	3,92	0,59	2,18	—	1,88	69,96	71,72	97,54
A & R	0 — 42	21,05	0,75	0,58	0,89	—	—	23,27	22,42	103,79
<i>Perfil núm. 11 (Sierra de Revolvedores), Haploxeroll lítico</i>										
A1	0 — 10	63,53	1,01	1,01	1,12	—	1,24	66,71	66,71	99,90
<i>Perfil núm. 12 (Sierra de Cazorla), Haploxeroll lítico</i>										
A	0 — 14	26,65	2,70	0,54	0,64	—	2,64	30,53	31,93	95,61
B	14 — 25	6,24	1,38	0,54	0,26	—	0,73	8,42	8,39	100,35
<i>Perfil núm. 13 (Sierra de la Sagra), Haploxeroll lítico</i>										
A11	0 — 15	60,56	1,63	0,58	0,95	—	0,76	63,72	63,89	99,73
A12	15 — 30	57,54	2,14	0,49	0,67	—	—	60,84	59,45	102,37
<i>Perfil núm. 14 (Sierra de Baza), Haploxeroll lítico</i>										
A11	0 — 14	52,65	3,88	0,92	2,22	—	4,39	59,67	64,01	93,22
A12	14 — 27	48,88	3,13	0,64	1,93	—	1,71	54,58	55,82	97,78
<i>Perfil núm. 15 (Sierra Espuña), Haploxeroll lítico</i>										
O2	12 — 0	58,97	8,57	1,13	1,25	—	3,66	69,92	73,97	94,52
<i>Perfil núm. 16 (Sierra del Carche), Haploxeroll lítico</i>										
A11	0 — 18	55,93	2,51	0,93	0,88	—	2,72	60,25	63,45	94,44
A12	18 — 32	46,21	2,64	0,98	0,99	—	2,60	50,82	51,96	97,81
<i>Perfil núm. 17 (Calar del Río Mundo), Haploxeroll últico lítico</i>										
A1	0 — 25	16,43	0,53	0,73	0,95	—	15,66	18,64	33,37	55,86
A3	25 — 31	8,93	0,61	0,93	1,24	—	9,61	11,71	19,88	58,90
B2	31 — 44	7,17	0,49	0,52	1,36	—	7,12	9,54	14,71	64,85
B y R	+ 44	20,36	0,18	0,86	0,83	—	2,51	22,23	23,56	94,35
<i>Perfil núm. 18 (Sierra Guillemona), Haploxeroll últico fluvéntico</i>										
A11	0 — 7	19,91	0,28	0,87	0,50	—	2,82	21,56	23,73	90,86
A12	7 — 17	8,83	0,08	0,53	0,28	—	3,97	9,72	13,79	70,49
B1	17 — 27	6,23	0,29	0,47	0,29	—	5,33	7,28	14,75	49,36
B21	27 — 41	6,54	0,18	0,62	0,22	—	5,23	7,56	12,84	58,88
B22	41 — 59	7,65	0,12	0,50	0,19	—	5,86	8,46	13,62	62,11
B3	59 — 85	7,18	0,06	0,57	0,16	—	5,65	7,97	12,64	63,05

T A B L A I I I (continuación)

Hor.	Prof. (cm.)	Ca	Mg	Na	K	Al	H	S	T	V
<i>Perfil núm. 19 (Cordillera Cantábrica), Haploboroll lítico</i>										
A1	0 - 10	24,18	0,37	0,62	0,37	—	9,45	25,54	35,04	72,89
B21	10 - 27	20,68	0,14	0,64	0,19	—	4,92	21,65	28,64	75,59
B22R	27 - 45	17,24	0,11	0,92	0,19	—	2,09	18,46	20,31	90,89
<i>Perfil núm. 20 (Montes Universales), Haploboroll lítico</i>										
A1	0 - 20	46,91	0,51	0,57	0,87	—	5,92	48,86	56,01	87,23
B	+ 20	35,09	0,14	0,53	0,47	—	4,87	36,23	40,34	89,81
<i>Perfil núm. 21 (Cordillera Cantábrica), Haploboroll údico</i>										
O1	27 - 22	82,35	1,52	1,18	0,71	—	5,97	85,76	90,47	94,79
O2	22 - 0	80,12	0,36	1,12	0,43	—	3,35	82,03	84,32	97,28
A1	0 - 33	50,61	0,26	0,57	0,20	—	2,83	51,64	55,04	93,82
B2	+ 33	35,42	0,14	0,62	0,17	—	2,30	36,35	38,91	93,42
<i>Perfil núm. 22 (Picos de Europa), Criofolist lítico</i>										
O	12 - 0	32,99	1,02	0,60	0,37	—	12,13	34,98	45,69	76,55

Como suele ser en general en los suelos de montaña, los Inceptisoles estudiados están bien provistos en materia orgánica, de tal manera que el contenido en este constituyente no es en ninguno de ellos el factor limitante para calificar su epipedon de móllico u ócrico; poseen un epipedon que debe calificarse de ócrico bien sea por el espesor o por el color o por ambas características simultáneamente. Se trata de una materia orgánica bastante a muy bien humificada y tanto más cuanto más meridional es la ubicación del suelo, como corresponde a un clima con mayor temperatura media anual, precipitación más baja y más acentuado contraste estacional.

Las diferencias climáticas se reflejan igualmente en otras propiedades del suelo, tales como el contenido en CO_3Ca , los valores de pH y el estado del complejo de cambio. Así, el Criochrept típico y el Eutrochrept lítico, situados a la parte septentrional de la Península, están totalmente descarbonatados, con valores de pH ácidos y un complejo de cambio francamente desaturado, predominando por lo general los hidrogeniones entre los cationes de cambio, mientras que el Xerochrept lítico calcixerólico, perteneciente a Sierra Espuña, es calizo en todo su perfil y posee valores de pH ligeramente alcalinos, así como un complejo muy saturado, con marcado predominio del calcio entre los cationes de cambio.

Por último, conviene destacar que la mayor parte de los Inceptisoles de alta montaña aquí estudiados se han formado a partir de arcillas de descalcificación o restos de antiguos suelos de tipo terra rossa y no directamente a partir de las rocas carbonatadas subyacentes.

Mollisoles

La inmensa mayoría de los suelos que estudiamos pertenecen al Orden de los Mollisoles, ya que las condiciones de edafogénesis en alta montaña, sobre roca carbonatada y bajo las condiciones climáticas de la Península Ibérica, determinan con carácter general el desarrollo de un epipedon móllico que descansa directamente sobre la roca carbonatada o sobre un horizonte B, muy generalmente cámbico, suficientemente saturado. Por esta razón haremos su comentario considerándolos a nivel de suborden.

Rendolls

Pertenecen a este suborden los perfiles núms. 5 y 6, correspondientes Rendolls típicos de los Montes Universales, y el perfil núm. 7, que es un Rendoll lítico también de los Montes Universales.

Como es general en los suelos de alta montaña, los Rendolls aquí estudiados están muy bien provistos en materia orgánica. Se trata de una materia orgánica relativamente bien humificada, cuyo contenido desciende bruscamente al pasar al horizonte de transición a la roca carbonatada subyacente.

Contienen siempre un cierto porcentaje de grava caliza y su contenido en CO_3Ca equivalente suele ser bastante elevado, al propio tiempo que el contenido en CO_3Ca activo alcanza valores importantes. En consecuencia los valores de pH en suspensión acuosa son siempre ligeramente alcalinos y muy próximos a la neutralidad los determinados en solución 1 M de ClK. Por otra parte, el complejo de cambio se encuentra muy saturado y el calcio es el catión dominante, alcanzando el magnesio una proporción apreciable cuando la roca es una caliza dolomítica, como es el caso de los Rendolls típicos.

Xerolls

Pertenecen al suborden Xerolls la mayor parte de los perfiles aquí estudiados y, en particular, los ubicados en las sierras calizas de la mitad meridional de la Península, caracterizados por un régimen de humedad xérico.

Los perfiles núms. 8 a 16 corresponden a Haploxerolls líticos de las Sierras Guillemona, Revolcadores, Cazorla, La Sagra, Baza, Espuña y Carche. Se trata de suelos con perfil generalmente de tipo A-R, en los que el horizonte A, que cumple todos los requisitos del epipedon móllico y alcanza un espesor de 10 a más de 30 cm., descansa directamente sobre la roca carbonatada. Sólo muy excepcionalmente, el perfil es de tipo A-B-C-R o A-B-R, tal como ocurre en el núm. 5 (Sierra Guillemona) y en el núm. 12 (Sierra de Cazorla), presentando un contacto lítico a menos de 50 cm. de profundidad, razón por la cual no se refleja en la denominación el hecho de que pueda existir una cierta acumulación de CO_3Ca secundario en la base del perfil, sin llegar a constituir un horizonte cálcico.

También ocasionalmente algunos perfiles poseen horizonte O, que incluso descansa directamente sobre la roca carbonatada, como es el caso del Haploxeroll lítico núm. 15 de Sierra Espuña; pese a que le corresponde el símbolo O, debe considerarse como epipedon mólico, teniendo en cuenta que su contenido en materia orgánica, aunque es muy alto (14,93 por 100), se sitúa por debajo del límite superior establecido para el epipedon mólico por no estar saturado en agua.

Los Haploxerolls líticos aquí estudiados son suelos muy bien provistos en materia orgánica, ya que sus horizontes superiores presentan contenidos en carbono orgánico comprendidos entre el 3 y el 12 por 100, siendo incluso más elevados en los horizontes o. Es una materia orgánica bastante bien humificada, con valores de la razón C/N del orden de 11, como corresponde a las condiciones climáticas que caracterizan a estos suelos. Suelen ser calizos en todos sus horizontes, de acuerdo con lo cual poseen valores de pH ligeramente alcalinos los determinados en suspensión acuosa y ligeramente ácidos los determinados en suspensión de CaCl_2 1 M, al propio tiempo que su complejo de cambio está total o casi totalmente saturado en bases, siendo el calcio el catión de cambio dominante.

Los perfiles núms. 17 y 18 corresponden a un Haploxeroll últico lítico del Calar del Mundo y a un Haploxeroll últico fulvéntico de la Sierra Guillemona, respectivamente, caracterizados por un perfil de tipo A-B-R más desarrollado, cuyo carácter últico viene marcado por un grado de saturación menor del 75 por 100 en la mayor parte del perfil. Son suelos bien provistos en materia orgánica en sus horizontes superiores, tratándose de una materia orgánica muy bien humificada, como muestran los valores de la razón C/N.

A diferencia de los Haploxerolls líticos, los Haploxerolls últicos aquí estudiados están totalmente descarbonatados en la mayor parte de su perfil, lo cual se traduce en que los valores de pH sean considerablemente menores de 7 y que su grado de saturación presente valores generalmente inferiores al 70 por 100. En ocasiones, como es el caso del Haploxeroll últico fluvéntico de la Sierra Guillemona (perfil núm. 18), solamente el horizonte superior posee una pequeña cantidad de CO_3Ca (0,24 por 100 CO_3Ca equivalente) que afecta tanto a los valores de pH como a los del grado de saturación haciendo que los primeros sean ligeramente alcalinos y los segundos mayores del 70 por 100. Indudablemente, este CO_3Ca debe corresponder a un aporte reciente, posiblemente de tipo eólico, y cabe pensar que estos Haploxerolls últicos se hayan formado a partir de arcillas de descalcificación, ya que en otros suelos de las mismas sierras calizas no se observa semejante grado de descarbonatación ni de desbasificación.

Borolls

Pertencen a este suborden los perfiles núms. 19, 20 y 21, que corresponden a Haploborolls líticos de la Cordillera Cantábrica y Montes Universales y a un Haploboroll údico de la Cordillera Cantábrica.

Los Borolls aquí estudiados son suelos con perfil A-B-R y muy ocasionalmente, O-A-B-R, cuyo epipedon cumple todos los requisitos del

mólico y se corresponde con el horizonte A o este horizonte y la parte superior del B. Sigue al epipedon mólico un horizonte B con todas las características del cámbico.

Por lo que se refiere a su contenido en materia orgánica puede decirse que todos ellos se hallan muy bien provistos en una materia orgánica bien humificada y tanto mejor cuanto menor es su altitud o su latitud. En ocasiones, el contenido en materia orgánica es tan elevado que los horizontes superiores son auténticos horizontes O, tal como es el caso del Haploboroll údico de la Cordillera Cantábrica.

Son suelos sólo muy ligeramente calizos y, en concordancia con su contenido en CO_3Ca , los valores de pH son ligeramente alcalinos o ligeramente ácidos. El complejo de cambio de los Borolls se encuentra bastante bien saturado y, en ocasiones, muy saturado, con valores del grado de saturación en torno al 90 por 100. El calcio es, con carácter general, el catión de cambio dominante, siguiendo los hidrogeniones en orden de abundancia.

Histosoles

Excepcionalmente, clasificamos como Histosol un Criofolist lítico de los Picos de Europa (perfil núm. 22), formado a considerable altitud y en situación topográfica llana, habida cuenta de su perfil de tipo O-R, con un muy elevado contenido en materia orgánica, y de que debe pasar alguna época del año saturado en agua.

Por lo demás, se trata de un perfil muy poco desarrollado, totalmente descarbonatado, ligeramente ácido, pero con un complejo de cambio moderadamente saturado, en el que el calcio es el catión de cambio dominante.

RESUMEN

En el presente trabajo se expone el estudio macromorfológico, analítico y ambiental de veintidós perfiles de suelos desarrollados sobre rocas carbonatadas consolidadas de distintas formaciones orográficas de la Península.

La gran dispersión geográfica de los mismos supone una gran variedad en las condiciones climáticas y ambientales, así como en la tipología de los suelos, que pertenecen a los Ordenes Entisoles, Inceptisoles, Mollisoles (Rendolls, Xerolls y Borolls) e Histosoles.

Todos ellos presentan un abundante contenido en materia orgánica hasta el punto de que alguno de los perfiles posee horizontes O. Los suelos pertenecientes a los Ordenes Entisoles, Inceptisoles e Histosoles, así como los del suborden Borolls, suelen encontrarse práctica o totalmente descarbonatados, al igual que los Haploxerolls últimos, mientras que los Rendolls y los Haploxerolls líticos son francamente calizos en todos sus horizontes. El complejo de cambio de los suelos estudiados está moderada a altamente saturado y el calcio es, en general, el catión de cambio dominante.

Teniendo en cuenta las características macromorfológicas, resultados analíticos y las condiciones ambientales, los suelos que se estudian quedan clasificados en la siguiente forma:

Orden Entisoles: Xerorthent lítico, Sierra Guillemona.

Orden Inceptisoles: Criochrept típico, Picos de Urbión. Eutrochrept lítico, Cordillera Cantábrica. Xerochrept lítico calcixerólico, Sierra Espuña.

Orden Mollisoles: Rendoll típico, Montes Universales. Rendoll lítico, Montes Universales. Haploxeroll lítico, Sierra del Carche, Sierra Espuña, Revolcadores, Sierra

Guillemona, Sierra de Cazorla, La Sagra y Sierra de Baza. Haploxeroll últico, Calar del Mundo y Sierra Guillemona. Haploboroll lítico, Cordillera Cantábrica y Montes Universales.

Orden Histosoles: Criofolist lítico. Picos de Europa.

Departamento de Geología. Facultad de Ciencias. Universidad de Murcia.

BIBLIOGRAFÍA

- DE LEÓN, A., FORTEZA DEL REY, V. y M., DE LAS CASAS, G. y LOVERA, C. (1974). Caracterización agroclimática de la provincia de Murcia. Ministerio de Agricultura.
- FAO (1968). Guía para la descripción de perfiles de suelo.
- LAUTENSACH, H. (1967). Geografía de España y Portugal. Ed. Vicens-Vives, 1.^a edición, Barcelona.
- MONTERO, J. L. y GONZÁLEZ REBOLLAR, J. L. (1974). Diagramas bioclimáticos. ICONA.
- SAURA, F. y FERRERAS, C. (1976). Estudio climatológico de la provincia de Murcia. CEBAS.
- SOIL SURVEY MANUAL (1951). Soil Survey Staff. Washington D. C.
- SOIL TAXONOMY (1975). National Cooperative Soil Survey. Washington D. C.

Recibido para publicación: 23-V-78

MINERALOGIA Y GENESIS DE SUELOS CON HORIZONTE B TEXTURAL SOBRE SEDIMENTOS SUELTOS EN EL SURESTE DE ESPAÑA

por

L. J. ALIAS y J. ALBALADEJO

SUMMARY

MINERALOGY AND GENESIS OF SOILS WITH B TEXTURAL HORIZON ON UNCONSOLIDATED SEDIMENTS IN THE SOUTHEAST OF SPAIN

Two profiles of soils with a B textural horizon on unconsolidated sediments are studied with special attention on the genesis of those Bt horizons.

The field observations the general conditions of the soil with horizons Bt totally discarbonated the granulometry of the clay fraction, in which is verified that the fine clay total clay ratio has its highest value in these horizons, and the mineralogic composition, with abundance of smectitic minerals, supports the hypothesis of a contribution of clay translocation in the genesis of the horizons Bt of these soils although symptoms of illuviation are not detected in a micromorphological study due to a disruption of clay-skin, caused by the high potential of shrinking-swelling of these horizons.

In attendance to diagnostic horizons and to the climatic conditions the studied soils are classified as follows calcic argixeroll the J-3 profile and mollic haploxeralf the J-7.

INTRODUCCIÓN

En anteriores publicaciones (Alias y Albaladejo, 1976a, 1976b), se dio cuenta de los resultados del estudio de algunos suelos con horizonte B textural que se encuentran en el Sureste de España sobre rocas volcánicas y sobre calizas. Un tercer tipo de material litológico existente bajo este tipo de suelos lo constituyen los sedimentos y el estudio de estos suelos es precisamente el objeto del presente trabajo. Se ha prestado una especial atención, como en las dos publicaciones anteriores, a la intervención del proceso de translocación de arcilla en la génesis del horizonte B textural.

Las zonas del Sureste en las que se encuentran ubicadas estos suelos comprenden una extensa llanura al norte de la provincia de Albacete, en su límite con la de Cuenca, y áreas muy localizadas del Centro-Este de la provincia de Alicante, con una situación topográfica de colinas.

El régimen de precipitación es muy semejante para los dos perfiles considerados, siendo las precipitaciones anuales de 335 mm. para el J-3

y de 330 mm. para el J-7, con una media de temperatura anual de 17,6° C y 13,5° C respectivamente. En los correspondientes diagramas ombrotérmicos (fig. 1) se puede observar que en los perfiles el período seco es de unos cuatro meses. A efectos de clasificación se les asigna a ambos un régimen de humedad xérico.

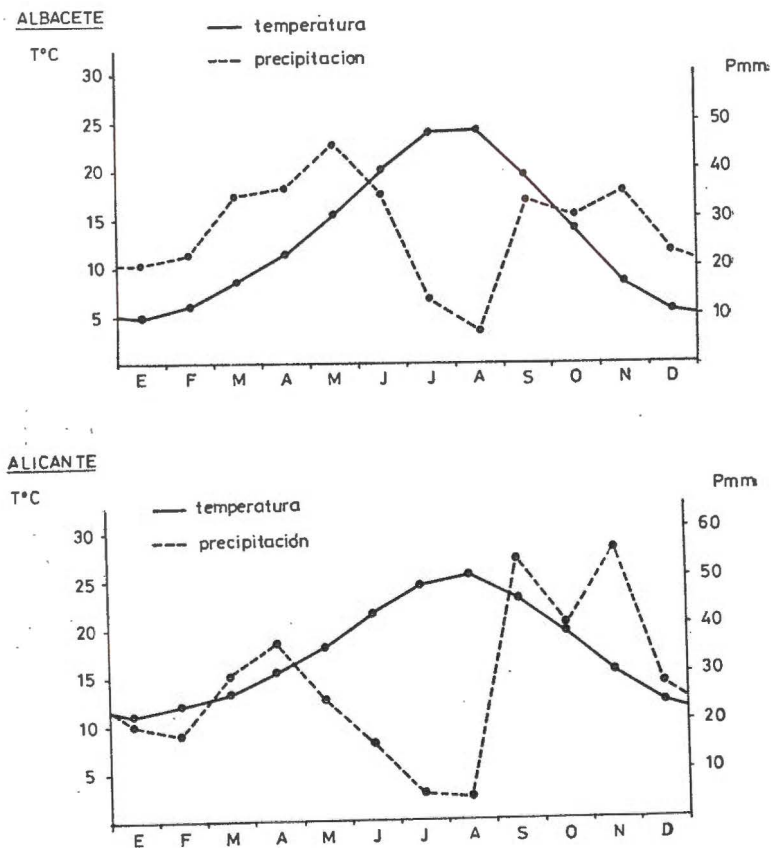


Fig. 1

El perfil J-3 tiene una vegetación con predominio de las especies *Rosmarinus officinalis* y *Thymus vulgaris*. El J-7 es un suelo que está en cultivo y en los pocos lugares en los que existe una vegetación natural es también a base de las mismas especies que en el anterior.

LOS SUELOS: MACROMORFOLOGÍA Y CARACTERES ANALÍTICOS GENERALES

Los suelos a los que pertenece el perfil J-3 presentan en líneas generales el siguiente desarrollo de horizontes: A-B1-B2t-Cca, en los que el horizonte A constituye un epipedón móllico de unos 20 cm. de espesor

y de un color más pardo que los subyacentes, debido a su contenido en materia orgánica, bastante bien humificada, que condiciona una estructura grumosa o granular y una consistencia mullida. Al horizonte A le sigue un horizonte B1 de transición, con más caracteres de B, pero con un contenido en materia orgánica demasiado elevado para considerarlo un B2. Inmediatamente debajo del horizonte B1 se encuentra un B2t de una tonalidad más rojiza que el resto del perfil, con unas características morfológicas típicas de un horizonte argílico, una estructura prismática, textura arcillosa y abundantes superficies brillantes de arcilla orientada, y en consonancia con estas características, están totalmente descarbonatados, el valor de la razón $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ es menor y el de Fe libre/Fe total es mayor que en los otros horizontes y la relación arcilla fina/arcilla total alcanza su valor más alto en estos horizontes B2t. Bajo el horizonte argílico se encuentra un horizonte C de acumulación de CO_2Ca .

TABLA I

Datos analíticos generales

Hor.	Prof. cm.	M.O. %	C %	N %	C/	% CO_2Ca		pH	
						Equiv.	Activo	H ₂ O	ClK
<i>Perfil J-3</i>									
A	0-21	3,52	2,65	0,26	10,2	17,9	5,37	8,6	7,3
B1	21-42	2,75	1,6	0,16	9,8	1,5	2,81	8,55	7,15
B2t	42-60	1,54	0,9	0,09	9,8	—	1,87	8,4	7,05
Cca	+ 60	0,60	0,35	0,06	9,8	37,1	5,87	8,5	7,3
<i>Perfil J-7</i>									
Ap1	0-14	2,18	1,26	0,17	10,9	15,0	4,5	7,6	7,1
Ap2	14-25	1,75	1,02	0,10	10,1	20,5	5,3	7,9	7,1
A2	25-39	1,15	0,67	0,07	9,3	—	1,2	7,6	7,1
B21t	39-46	1,18	0,69	0,08	8,11	—	1,3	7,6	6,7
B22t	46-82	0,99	0,58	0,08	7,82	—	1,4	7,7	6,8
B23tca	82-95	0,99	0,58	0,08	7,82	18,5	4,1	7,7	7
Cca	+ 95	0,84	0,49	0,075	6,53	29,7	5,8	7,8	7,1

En la zona del perfil J-7 los suelos tienen comúnmente el siguiente desarrollo de horizontes: Ap-Bt-Cca, en los que el horizonte A no constituye un epipedón mólico, debido tal vez a que es un suelo de cultivo. Los horizontes Bt y Ca tienen una morfología muy semejante a la de los correspondientes horizontes del perfil J-3. Ocasionalmente se conserva el horizonte eluvial A2, como en el caso del perfil que aquí se considera.

Tanto en los suelos del perfil J-3 como en los del J-7, los horizontes más superficiales corresponden a unos aportes posteriores, con escasa relación genética con el resto del perfil.

Como se puede observar en la tabla I, el contenido en materia orgánica de los suelos a los que pertenece el perfil J-3, es más alto que en los del J-7, debido, sin duda, a que aquellos poseen una vegetación natural, mientras que éstos son suelos sometidos a cultivo. En ambos casos se trata de una materia orgánica bastante bien humificada, a juzgar por los valores de la relación C/N, muy incorporada, cuyo contenido disminuye gradualmente al aumentar la profundidad.

Esta distribución de los contenidos en carbonato cálcico equivalente, que muestra un gran paralelismo en ambos perfiles, resulta muy interesante en el estudio de estos suelos. Así, se puede ver en la tabla I

TABLA II

Razones moleculares de la fracción arcilla

Hor.	$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$	$\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3$	Fe libre/Fe total
<i>Perfil J-3</i>				
A	2,99	2,42	4,28	0,23
B1	3,31	2,65	4,22	0,29
B2t	3,30	2,54	4,68	0,37
Cca	2,88	2,37	4,69	0,54
<i>Perfil J-7</i>				
Ap1	2,80	2,23	3,89	0,58
Ap2	2,72	2,25	4,78	0,64
A2	2,79	2,27	4,41	0,61
B21t	2,67	2,12	4,22	0,82
B22t	2,56	2,11	4,69	0,82
B23t	2,77	2,31	5,04	0,68
Cca	2,91	2,35	4,14	0,53

que los horizontes superiores tienen alrededor del 20 por 100 de carbonatos en la tierra fina, estando los horizontes B texturales totalmente descarbonatados y a continuación se presentan unos horizontes C de acumulación de carbonatos, que en el perfil J-7 aparece ya en la parte inferior del Bt.

Esta distribución, por una parte, nos pone de manifiesto la discontinuidad litológica, mencionada anteriormente, entre los horizontes A y Ap, de los perfiles J-3 y J-7 respectivamente, y el resto del suelo. Por otra parte, el hecho de que los horizontes Bt estén totalmente descar-

bonatados, es una condición indispensable para que se produzca la translocación de arcilla, ya que la presencia de calcio produce la coagulación de la arcilla (Gallay, 1925) e impide su movilización a través del suelo.

La reacción del suelo es claramente más alcalina en el perfil J-3, con valores de pH alrededor de 8,5, que en el J-7, con un valor medio de 7,7. En ambos casos el pH está bastante por encima del valor que se considera óptimo para que se produzca la translocación de arcilla, si bien puede ocurrir que la alcalinización de los horizontes argílicos haya sido posterior a su formación y haya ocurrido por una ganancia en Ca activo procedente de los horizontes superiores de aporte posterior que están bastante carbonatados.

La translocación de los filosilicatos componentes de la fracción arcilla suele ir acompañada generalmente de las migraciones de otros minerales de dicha fracción, tales como los óxidos libres. En la tabla II, se observa claramente que el valor de la razón $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ tiene su valor mínimo y el de la razón Fe libre/Fe total su valor máximo, en los horizontes Bt de ambos perfiles, lo cual parece indicar una ganancia en sesquióxidos y en especial de óxidos de hierro libres en los citados horizontes. Por otra parte, el valor de la razón Fe libre/Fe total es considerablemente más alto en el perfil J-7 que en el J-3, poniéndose de manifiesto que el proceso de rubefacción adquirió en aquel una mayor intensidad, impartiendo al suelo un tono más rojo que el del perfil J-3.

DISTRIBUCIÓN DE PARTICULAS POR TAMAÑOS EN LA FRACCIÓN ARCILLA

Observando los resultados de la tabla III, se pone de manifiesto, una vez más en lo que respecta al perfil J-3, la discontinuidad litológica entre los horizontes A y B1. Efectivamente, los valores de la razón arcilla fina/arcilla total aumentan considerablemente en el horizonte B2t. En este sentido, si nos fijamos ahora en los contenidos de arcilla total de los horizontes B1 y B2t que son de 33,8 y 50,1 por 100 respectivamente, con una diferencia entre ambos de 16,3 por 100, y en los contenidos en arcilla menor de 0,08 micras que son 17,9 por 100 en el B1 y 34,0 por 100 en el B2t con una diferencia de 16,1 por 100, se deduce que prácticamente el 100 por 100 del aumento del contenido en arcilla total al pasar del horizonte B1 al B2t se debe a la fracción menor de 0,08 micras, fracción que, como se sabe, es la que preferencialmente emigra, estableciendo consecuentemente que los valores de la razón arcilla fina/arcilla total sean máximos en los horizontes del perfil que ha habido una iluviación de arcilla.

Por lo que respecta al perfil J-7 y como se desprende de los porcentajes de arcilla total (tabla III), de los contenidos en CO_3Ca (tabla I) y de las observaciones de campo, se puede asegurar que los materiales que forman los horizontes Ap fueron depositados en una etapa posterior a la formación del resto del perfil.

La mayor dificultad en cuanto al conocimiento de la génesis de este suelo estriba en saber si lo que damos como A2 se trata realmente de un horizonte eluvial, o si, por el contrario, es un aporte posterior con escasa relación genética con los horizontes Bt subyacentes. Ciñéndonos ahora a la distribución por tamaños de las partículas que constitu-

yen la fracción arcilla, se puede ver que ésta habla en favor de un horizonte eluvial. En efecto, los contenidos en arcilla total de los horizontes A2 y B21t son respectivamente de 20,7 y 46,7 por 100 con una diferencia entre ambos del 26 por 100 y los contenidos en arcilla menor de 0,08 micras 12,8 por 100 y 36,8 por 100 respectivamente, lo que da una diferencia entre ellos del 24 por 100, lo cual supone que el 93 por 100 de la diferencia en el contenido total de arcilla se debe a la fracción menor de 0,08 micras, que es la que por su composición mineralógica, como veremos más adelante, y su tamaño, goza de una mayor movilidad y por tanto la que con mayor intensidad está sujeta a la translocación.

TABLA III

Distribución de partículas por tamaños de la arcilla en %

Hor.	> 1 μ	1-0,2 μ	0,2-0,08 μ	< 0,08 μ	Total	$\frac{\text{Arc. fina}}{\text{Arc. gruesa}}$	$\frac{\text{Arc. fina}}{\text{Arc. total}}$
<i>Perfil J-3</i>							
A	2,0	6,0	6,0	25,4	39,4	3,9	0,79
B1	2,5	6,3	7,1	17,9	33,8	2,3	0,69
B2t	2,6	6,8	6,7	34,0	50,1	4,3	0,81
Cca	1,4	5,0	4,8	19,2	30,4	3,75	0,79
<i>Perfil J-7</i>							
Ap1	0,5	2,6	5,7	31,4	40,2	11,96	0,92
Ap2	0,8	2,2	3,6	26,3	33,1	10,03	0,91
A2	1,3	3,4	3,2	12,8	20,7	3,40	0,77
B21t	0,8	3,7	5,4	36,8	46,7	9,37	0,90
B22t	0,7	3,0	7,5	41,7	52,9	13,29	0,93
B23t	0,7	2,8	11,7	46,3	61,5	16,57	0,94
Cca	0,3	3,9	5,4	32,7	42,3	9,07	0,90

Por otra parte, se puede ver en la tabla II que los valores de la razón arcilla fina/arcilla total aumentan al aumentar la profundidad dentro del horizonte Bt. Suponiendo que el elevado contenido en arcilla del horizonte argílico se deba exclusivamente a una argilización (Gue-rra, 1972) y dado que la intensidad de la alteración química es prácticamente la misma en todo el horizonte Bt, no hay razón para que se establezcan las diferencias en el porcentaje de arcilla existentes entre los subhorizontes del horizonte Bt y menos aún las diferencias en los valores de la razón arcilla fina/arcilla total, por tanto hay que admitir, además de la argilización, la intervención del proceso de translocación de arcilla en la génesis de estos suelos.

MINERALOGÍA DE LA FRACCIÓN ARCILLA

*Perfil J-3**Arcilla total*

Al hacer el estudio mineralógico, por difracción de rayos X, de la fracción arcilla total (fig. 2) la vermiculita y la caolinita aparecen como los filosilicatos más abundantes, a las que cuantitativamente siguen illita y clorita, al mismo tiempo que se hace evidente la presencia de unos minerales interestratificados de bajo grado de cristalinidad identificadas como (1-M), (10-14v) y (14c-14v).

Si se observan a continuación los resultados del estudio mineralógico de cada una de las cuatro subfracciones obtenidas de la fracción arcilla total (fig. 3) y teniendo en cuenta los porcentajes de la tabla III se puede precisar más detalladamente la composición y distribución en el perfil de los minerales arcillosos.

Fracción $1 > \mu \emptyset$

Se hace patente la presencia de cuarzo no detectado en la fracción total y que, junto con la caolinita, es el constituyente mayoritario de esta subfracción en todos los horizontes. En el horizonte A, además de los anteriores, hay illita y clorita, no detectándose la presencia de vermiculita; el horizonte B1 tiene los mismos minerales que el A y además aparece algo de vermiculita y de los interestratificados (10-14v) y (14c-14v); al pasar al horizonte B2t la vermiculita es más abundante que la illita y clorita al tiempo que se hace patente la presencia de los interestratificados; en el horizonte C se hacen más acusados los efectos observados en el B2t, es decir, aumento de las proporciones relativas de vermiculita y de interestratificados (10-14v) y (14c-14v).

Fracción de $0,2-0,08 \mu \emptyset$

No se detecta la presencia de cuarzo en esta fracción y la illita es muy escasa. El componente mayoritario en todos los horizontes es la vermiculita. Además de los interestratificados (10-14v) y (14c-14v), aparecen otros que son abundantes en los horizontes A y B1 y en la que uno de los componentes es un mineral hinchable.

Fracción $0,08 < \mu \emptyset$

En esta subfracción desaparecen prácticamente todos los minerales que se detectan en el resto de la arcilla, quedando constituida, casi exclusivamente, por unos minerales interestratificados hinchables, casi amorfos en el horizonte A y por montmorillonita, interestratificados y

una pequeña cantidad de caolinita e illita en el resto de los horizontes.

En general se observa que al disminuir el tamaño de las partículas se producen gradualmente las siguientes variaciones:

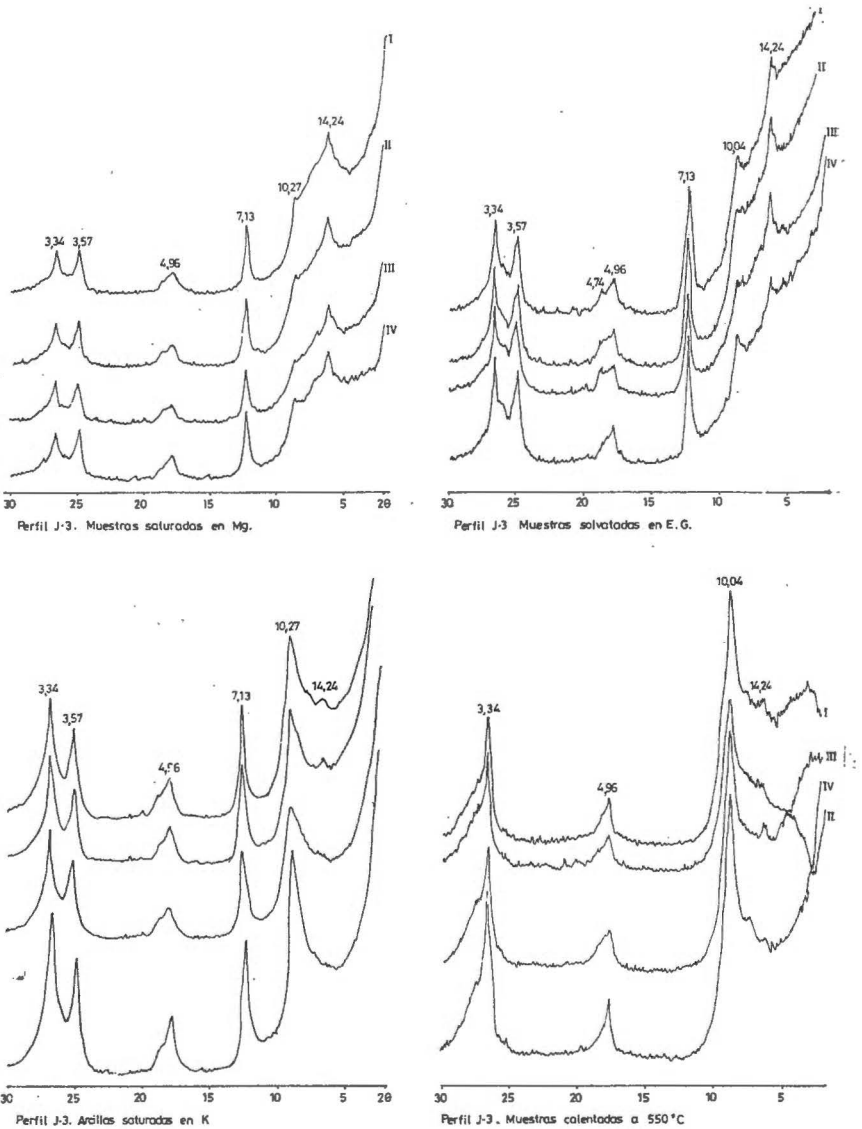


Fig. 2

El cuarzo disminuye notoriamente no detectándose ya en la sub-fracción de 0,2-0,08.

La proporción de caolinita disminuye, al propio tiempo que aumenta la de vermiculita.

Disminución de la ilita tanto en cantidad como en grado de cristalinidad.

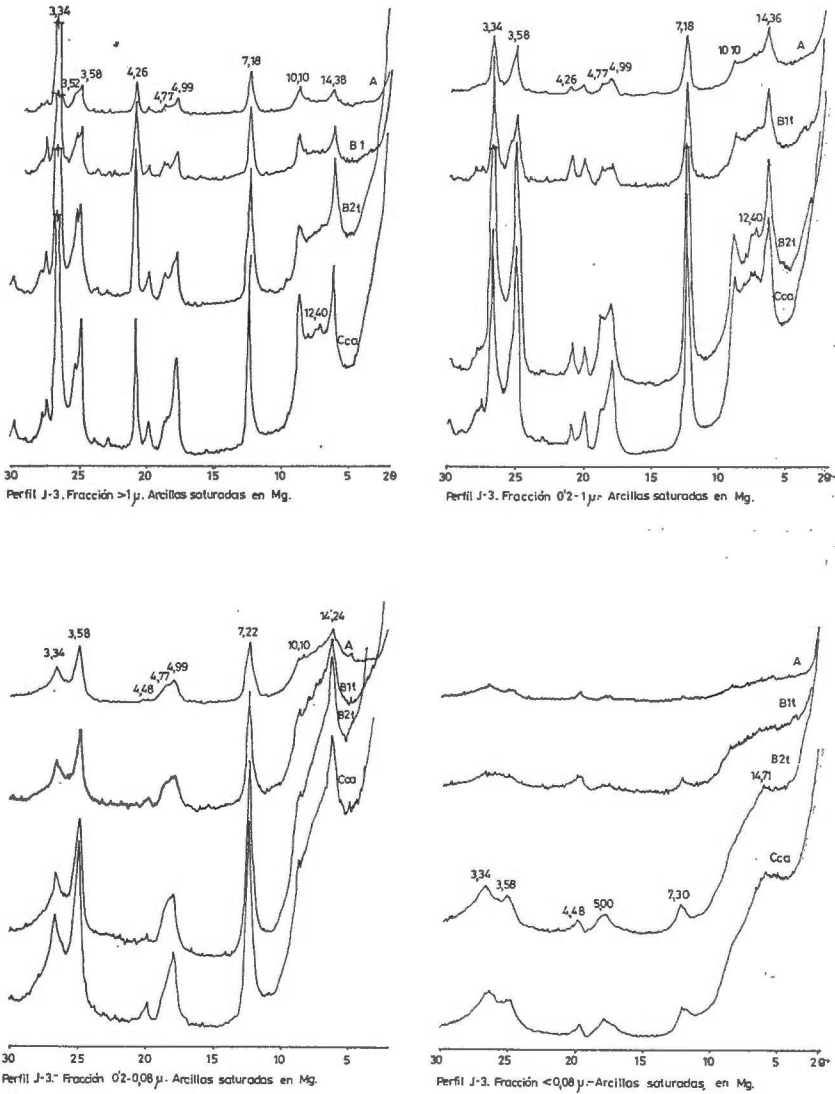


Fig. 3

La clorita desaparece casi por completo en la subfracción de 0,2-0,08. Los interestratificados (10-14v) y (14c-14v) aumentan, apareciendo en todos los horizontes aunque en mayor proporción en el B2t y C.

Teniendo en cuenta los porcentajes y la composición mineralógica de cada subfracción, se deduce que los componentes mayoritarios de

la fracción arcilla de este perfil son la montmorillonita y unos minerales interestratificados, muy alterados, con un grado de cristalinidad

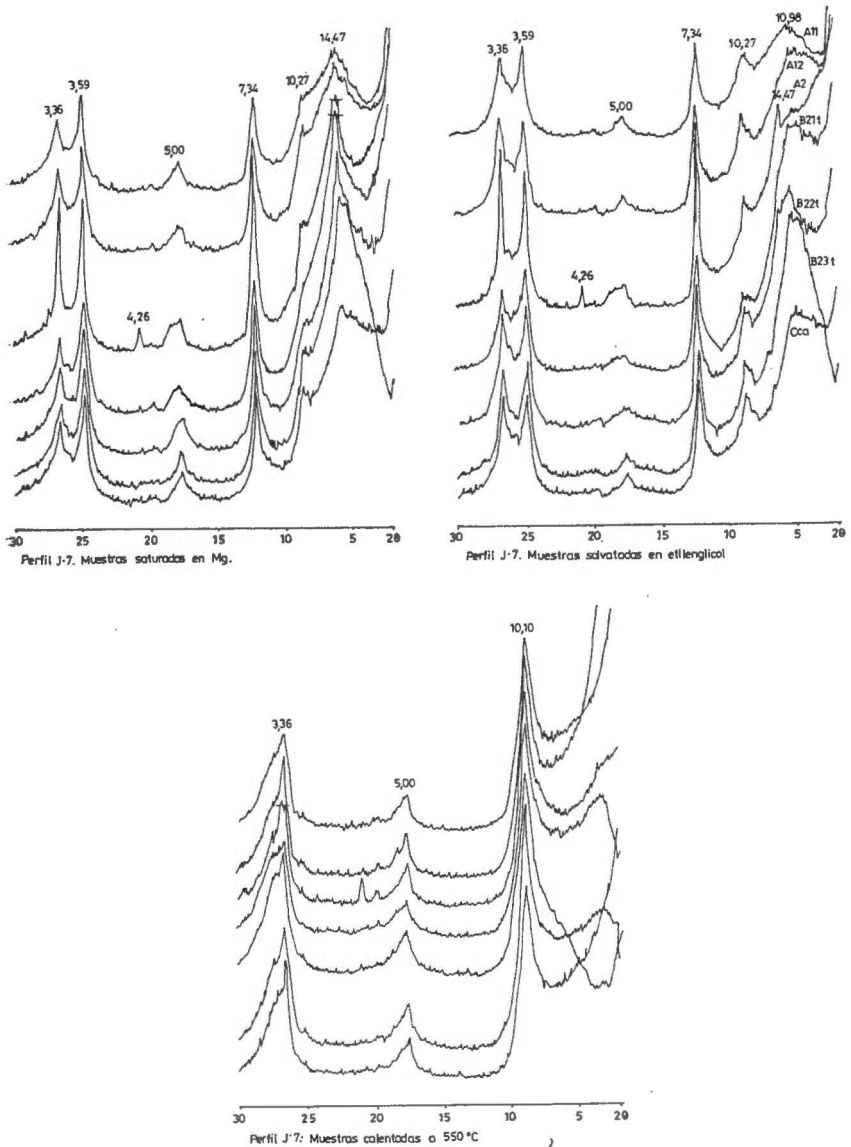


Fig 4

muy bajo que dificulta enormemente su identificación, a los que siguen en orden de abundancia: caolinita, vermiculita, ilita y clorita. Se pone de manifiesto, al propio tiempo, la presencia de pequeñas cantidades de cuarzo en las subfracciones más gruesas.

Por lo que respecta al perfil J-7 (figs. 4 y 5) se puede ver tanto en la fracción arcilla total, como al hacer las subdivisiones por tamaños, que el mineral más abundante es la montmorillonita, a la que acompañan caolinita, vermiculita e ilita. Al hacer el estudio de cada subfracción, se pone de manifiesto la presencia de cuarzo, feldespatos e interestratificados (10-14v) y (14c-14v) en pequeña cantidad, formando

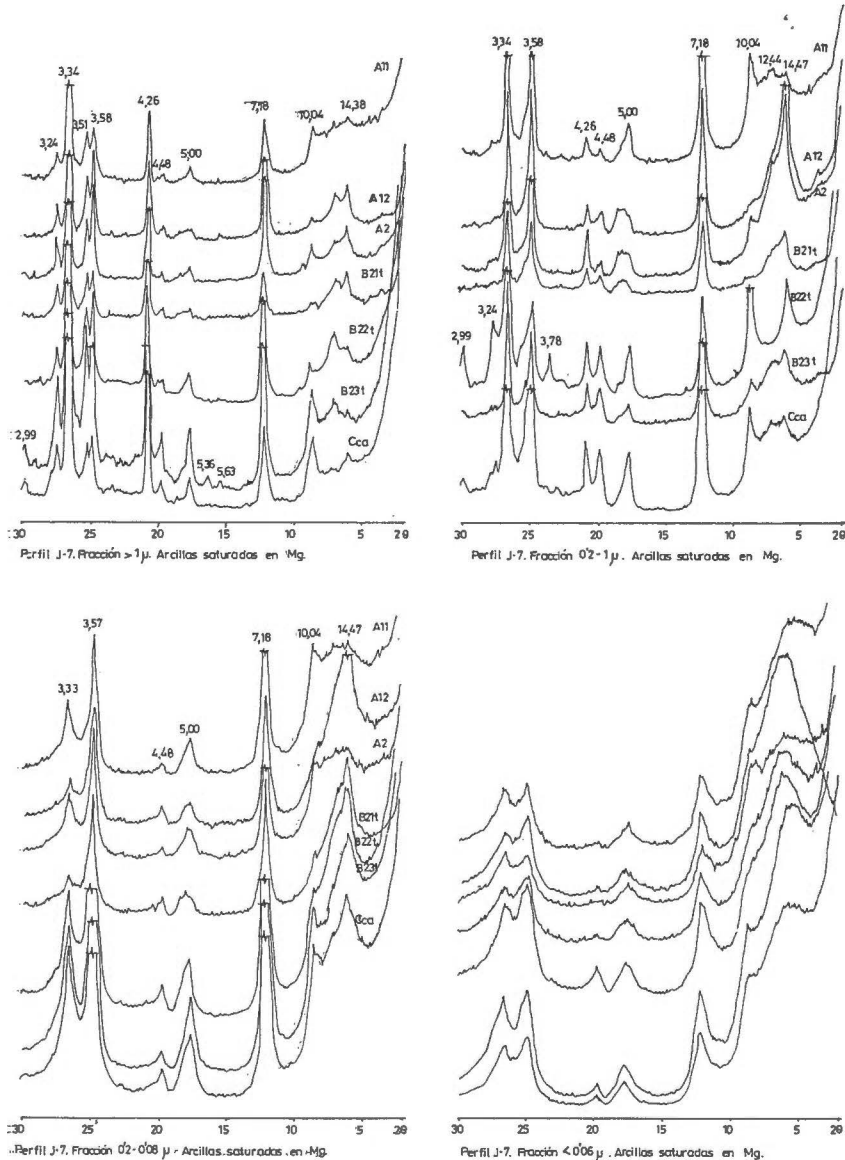


Fig. 5

parte de las fracciones más gruesas. Como el perfil anterior, al disminuir el tamaño de las partículas se produce un aumento de la proporción de montmorillonita y de interestratificados.

En los difractogramas de las arcillas totales saturadas en magnesio (fig. 4) se aprecia claramente la estrecha relación existente, en cuanto a su composición mineralógica, entre el horizonte A2 y los Bt, lo cual es un argumento en favor de que el horizonte que se da como A2 sea realmente un horizonte eluvial, no existiendo una discontinuidad litológica entre él y los horizontes subyacentes.

MICROMORFOLOGÍA

La descripción micromorfológica de los horizontes Bt de ambos perfiles se da en el anexo III. En ella se puede observar que se trata de suelos con un plasma muy abundante, constituido fundamentalmente por una masa arcillosa, con una tonalidad rojiza y con unas zonas más o menos rubificadas debido a una impregnación de la masa basal por óxidos de hierro, presentando una contextura básica porfiroesquelética, en ambos casos, y una contextura plásmica muy débilmente inséptica en el perfil J-3 y esquelinséptica en el J-7.

Se observan arcilanes y ferriarcilanes rodeando granos de esqueleto, usualmente delgados y de límite confuso, que son bastante escasos, un 1 por 100 en el perfil J-3 y más abundantes, un 3,5 por 100, en el perfil J-7. El origen de todos ellos es presión y difusión, no observándose evidencias de iluviación, aunque sí hay síntomas de antecedentes iluvial que han sufrido una disrupción.

El mejor método para la identificación de la translocación de arcilla es mediante el estudio en sección delgada (Bullock). Ahora bien, aunque las partículas de arcilla están altamente orientadas en los horizontes Bt de suelos de regiones con clima árido y mediterráneo del Sureste de los Estados Unidos, no se reconocen en ellos clay-skins de iluviación claramente diferenciados. Los clay-skins no están presentes en horizontes con un elevado potencial de hinchamiento-retracción (Nettleton, 1969).

Teniendo en cuenta que los suelos que aquí se consideran tienen un potencial de hinchamiento-retracción alto, originado por el elevado contenido en arcilla y su composición mineralógica a base principalmente de minerales hinchables, y dado que son regiones con un clima mediterráneo, los humedecimientos bruscos seguidos de una prolongada sequía, originarán microtensiones en la masa basal que serán las causantes de las reorganizaciones del plasma alrededor de los granos de esqueleto y de la disrupción de cutanes de iluviación. Similares observaciones han sido establecidas por Reynders (1972), en suelos muy semejantes a los aquí estudiados.

Considerando, por otra parte, que se trata de suelos truncados y dado que el porcentaje de cutanes es como mínimo del 1 por 100, los horizontes B texturales de estos perfiles se consideran argílicos a efectos de clasificación.

G É N E S I S

Teniendo en cuenta el papel de la geomorfología y del tiempo en relación a los procesos de desarrollo de los suelos, ha evolucionado una teoría general de génesis de suelos, la cual hace hincapié en la combinación y balance de muchos procesos individuales, tanto físicos como químicos y biológicos (Simonsen, 1959). Estos procesos de formación de suelos deben ser descritos como combinaciones de reacciones individuales, que tienen lugar en un suelo o material original, actuando juntos o consecutivamente y produciendo unas características del suelo dadas (Yaalon, 1971). Con base en las características del suelo descritas anteriormente al comentar los resultados de las determinaciones físicas, químicas y mineralógicas, así como del estudio micromorfológico, se ha intentado evaluar los procesos principales que han dado lugar a los suelos aquí estudiados.

Las observaciones realizadas conducen a la conclusión de que el desarrollo de estos suelos viene determinado por la evolución de las condiciones climáticas, existiendo diversas fases en su génesis, ligadas, cada una de ellas, a la variación de las condiciones ambientales.

El material de partida consiste en unos sedimentos calizos no consolidados. El alto contenido en carbonatos del material original actúa como un inhibidor de la lixiviación de bases y alteración del material silíceo (Culver, 1968), por lo que la iniciación de la alteración de estos sedimentos va ligada a la total disolución y extracción de los carbonatos. Tras esta extracción se inicia la alteración química del material silíceo original, acompañada de un lavado de bases con la correspondiente acumulación relativa de los componentes que gozan de menor movilidad, como la sílice, óxidos de hierro y alúmina, liberados en la estación húmeda por hidrólisis de los aluminosilicatos y minerales ferromagnesianos, condiciones que caracterizan el proceso de fersialitización. Para que se produzca este proceso, hay que pensar que las condiciones climáticas fueron bastante diferentes de las actuales, especialmente en lo que respecta a la precipitación, que hubo de ser más elevada y con un marcado contraste de estaciones.

Los compuestos de hierro liberados durante la estación húmeda en la hidrólisis de los compuestos ferromagnesianos sufren una deshidratación parcial durante la estación seca, impregnando el suelo de una manera homogénea e impartándole un color rojizo (Duchaufour, 1970). La intervención de este proceso de enrojecimiento de la masa basal del suelo por las formas deshidratadas de hierro, llamado por muchos autores rubefacción, se pone claramente de manifiesto en el estudio micromorfológico de estos perfiles.

Tal vez, al mismo tiempo que la rubefacción, tuvo lugar el proceso de argilización, consistente en la formación no específica de minerales de la arcilla originados a partir de los productos resultantes de la hidrólisis del material original. Para que se lleve a cabo este proceso son necesarias unas condiciones climatológicas, como las señaladas anteriormente, con una estación seca estival, a fin de que no se eliminen continuamente en las aguas de drenaje los productos resultantes de la

alteración química del material de partida y se produzca la cristalización de los minerales de la arcilla. Junto a las arcillas neoformadas, están las heredadas del material original y las que se producen por transformaciones, especialmente degradaciones, conduciendo todo esto al elevado contenido en arcilla de estos suelos.

Unas condiciones de alternancia de períodos secos estivales y húmedos el resto del año, son muy adecuadas para que se produzca la translocación de arcilla, sobre todo si tenemos en cuenta que el suelo está totalmente descarboxilado y que debido al proceso de argilización se produjo una disminución de la concentración de electrolitos en la disolución del suelo, favoreciéndose de este modo la peptización y consiguiente emigración de las partículas de arcilla, especialmente las que constituyen la fracción más fina, que, además de su mejor tamaño, tiene una composición mineralógica muy favorable para ser eluviada. A través de la translocación de arcilla se originaron los horizontes Bt argílicos, bien desarrollados de estos perfiles.

En el perfil J-3 encontramos en todos sus horizontes unas concreciones de tamaño variable, no excediendo las mayores de 15 mm. de diámetro y con un color rojizo. Se han estudiado estas concreciones por difracción de rayos X y se ha visto que están compuestas, en su mayor parte, por cuarzo y óxidos de hierro en estado amorfo. En menor cantidad tienen también feldespatos, así como filosilicatos laminares, siendo estos caolinita, illita y vermiculita. La formación de estas concreciones nos obliga a considerar en cierto grado de hidromorfía durante la actuación del proceso de fersialitización.

La posterior evolución de estos suelos va ligada a un cambio climático gradual, tendiendo hacia unas condiciones climáticas con un régimen de menor precipitación y de estaciones secas más prolongadas. Paralelamente a esta evolución climática y dado el elevado porcentaje de arcilla y su composición mineralógica, en la que predominan los minerales montmorilloníticos, el suelo tendrá un alto potencial de hinchamiento-retracción que provocará una disrupción de cutanes de iluviación, como se comprueba en el estudio micromorfológico por la abundancia de grietas de resquebrajamiento originados por los fenómenos de hinchamiento y contracción de la masa basal del suelo. Esta es la causa por la que han desaparecido de los horizontes argílicos la mayor parte de los síntomas de iluviación. Al mismo tiempo y debido a estos movimientos de la masa del suelo por los fenómenos de expansión y contracción, se originan presiones en las caras de los agregados y alrededor de los granos de esqueleto, que provocan la orientación de las partículas de arcilla formándose slickensides o cutanes de presión.

En una etapa de su ciclo evolutivo, estos suelos, por efecto de una erosión intensa, perdieron los horizontes más superficiales y sobre los horizontes remanentes se depositaron posteriormente los materiales que actualmente constituyen los horizontes A. Con el establecimiento de una vegetación natural de carácter xerofítico, el proceso que actualmente ocurre es el de una incorporación profunda de materia orgánica bien humificada, dando al suelo un carácter isohúmico y originándose un epipedón móllico, como se comprueba en el perfil J-3. Este último proceso ha sido perturbado en el perfil J-7 por la acción del hombre, y debido a esta razón, su epipedón es ócrico.

ANEXO I

Descripción macromorfológica de los perfiles

Perfil J-3

Localización: carretera de Alicante a Valencia, en el Km. 156,3, a unos 150 m. a la derecha de la carretera.
 Provincia: Alicante.
 Topografía: ladera de montaña.
 Pendiente: 55 por 100.

Altitud: 100 m.
 Roca madre: derrubios calizos.
 Vegetación: *Rosmarinus officinalis*,
Thymus vulgaris, *Chamaerops humilis*.

Descripción de los horizontes

Horiz.	Prof. (cm.)	Macromorfología
A1	0-21	Pardo rojizo fuerte (5 YR 4/4) en seco y pardo rojizo (5 YR 3/3) en húmedo. Estructura grumosa. Raíces gruesas y abundantes. Se observan concreciones con gran cantidad de óxidos de Fe en estado amorfo. Abundantes cantos calizos; este es el horizonte donde hay más abundancia de cantos finos (1 cm.). Límite neto.
B1	21-42	Pardo rojizo fuerte (5 YR 3/3) en seco y pardo rojizo (5 YR 4/4) en húmedo. Estructura poliédrica subangular media. Más húmedo que el horizonte superior. Muy ligeramente calizo. Hay menor abundancia de cantos que en el A1 y son del mismo tipo, apareciendo también las mismas concreciones. Agregados poco consistentes. Límite gradual.
B2t	42-60	Pardo rojizo fuerte (5 YR 3/3,5) en seco y rojo amarillento (5 YR 4/6) en húmedo. Estructura poliédrica subangular gruesa con tendencia a prismática. Textura arcillosa. Es el horizonte más húmedo de todo el perfil y el que tiene menor cantidad de grava no calizo. Concreciones del mismo tipo que las anteriores. Agregados bastante consistentes. Se observan superficies brillantes de arcilla orientada en las caras de agregados. Grietas verticales de unos 3-5 mm. de anchura en las partes secas del horizonte. Límite abrupto.
Cca	+ 60	Rojo amarillento (5 YR 4/8) en seco y casi el mismo color (5 YR 5/8) en húmedo. Estructura masiva. Muy abundantes carbonatos. Se trata de un conglomerado calizo de cantos muy abundantes, angulares y heterométricos, procedentes de la erosión física de relieve calizo próximo. Está cementado por un material limoso rojizo.

Perfil J-7

Provincia: Albacete.
 Localización: carretera Quintanar del Rey - Cuenca, a 1 Km. del 1.º a la derecha de la carretera.
 Pendiente: 2 por 100.
 Drenaje: regular en superficie e impedido en profundidad.

Topografía: alto de una pequeña colina.
 Erosión: escasa.
 Roca madre: material limoso arenoso.
 Vegetación: *Rosmarinus officinalis*,
Thymus vulgaris, *Stipa tenacissima*.

Descripción de los horizontes

Horiz.	Prof. (cm.)	Caracteres macromorfológicos
A11	0-14	Rojo (2,5 YR 4/6) en seco y no cambia de color al humedecerse. Textura arcillosa. Estructura grumosa media. Bastante enraizado. Abundante pedregosidad.
A12	14-25	Rojo (2,5 YR 4/7) en seco y el mismo color húmedo. Estructura grumosa más desarrollada que el horizonte superior. Abundantes raicillas finas. Muy pedregoso. Límite neto.
A2	25-39	Rojo amarillento (5 YR 5/7) en seco y pardo rojizo (5 YR 4/4) en húmedo. Sin estructura. Textura limo-arenosa. No se observan raíces. Es el horizonte más pedregoso de todos.
B21 _g	39-46	Rojo (2,5 YR 4/6) tanto en seco como en húmedo. Estructura prismática. Textura arcillosa. Muy plástico. Abundantes raicillas, formando unas pseudomicelios blancos que sólo aparecen en este horizonte. Se observan superficies brillantes de arcilla orientada en las caras de los agregados. Mucho menos pedregoso que los anteriores. Límite gradual.
B22 _g	46-82	Rojo (2,5 YR 4/6) en seco y el mismo color en húmedo. Estructura prismática, con unas grietas de separación entre los prismas de unos 60 mm. las verticales y menores las horizontales. Textura arcillosa. Muy plástico. Las caras de los agregados y los cantos de grava están recubiertos de superficies brillantes, normalmente «slicken-side». Límite gradual.
B23 _g	82-95	Rojo amarillento (5 YR 5/6) en seco y rojo (2,5 YR 4/8) en húmedo. Estructura poliédrica angular media. Textura arcillosa. Plástico. Desraizado y muy poco pedregoso. Se observan superficies brillantes de arcilla orientada. Límite neto.
Cca	+ 95	Rojo amarillento (5 YR 5/8) en seco y rojo (2,5 YR 4/8) en húmedo. Estructura masiva. Textura limosa. Aparecen abundantes manchas rojizas de gran tamaño muy arenosas que no provienen de los horizontes superiores. Bastante carbonatado.

ANEXO II

*Descripción micromorfológica de los horizontes B2t**Perfil J-3*

Agregabilidad.

Tamaño de agregados de medios a grandes. Forma en bloques, en algún caso con tendencia alargada prismática, subangulares. Grado de desarrollo medio a fuerte. Superficie de las caras ligeramente rugosas.

Esqueleto.

En cantidad media $(3 + 4 + 10 + 12) = 7\%$. Está constituido por granos muy numerosos, pero de muy pequeño tamaño con todas las formas posibles y distribución al azar. Tamaño de 10-70 con media de 40 μ .

Dado el pequeño tamaño de los granos son muy difíciles de reconocer; no obstante, lo que parece apreciarse son cuarzo y feldespatos.

Las grietas mayores tienen más de 30μ y los canales son aproximadamente de 10μ .

Plasma.

Es abundante, 70 por 100 de tonalidad rojiza, con zonas más empardecidas. Presenta una textura porfiroesquelética y plásmica muy débilmente inséptica.

Cutanes.

Muy escasos arcillanos o ferriarcillanos rodeando granos de esqueleto, muy delgados y zonales, cuyo origen es presión. El conjunto de todos ellos supone un 1 por 100. No se observan síntomas de iluviación.

Glébulas.

Abundantes litorelictos y nódulos sesquioxídicos y de manganeso en cantidad media, irregulares y de tamaño pequeño que por su distribución nos habla de restos de antigua hidromorfía.

Actividad biológica.

Muy escasamente representada por algunos excretos, situadas en grietas, de color pardo amarillento, ovoides y de aproximadamente 30μ de tamaño medio.

No se observan cristalarias, túbulos ni ningún otro rasgo edáfico.

Perfil J-7

Horizonte B2It

Agregabilidad.

Se observan agregados de tamaño medio a grueso de forma prismática, grado de desarrollo fuerte, superficie de las caras suaves.

Esqueleto.

En pequeña cantidad $(28 + 17 + 8,5 + 7) = 15 \%$. Tamaño 500μ de media. Grietas 20μ con tamaño medio de 40μ .

De forma irregular, aislados, constituidos por cuarcitas, cuarzo, feldespatos y muy escasas micas.

Plasma.

El plasma es muy abundante, de color amarillo tendiendo a rojizo, con zonas más o menos rubificadas debido a impregnación de la masa basal por óxidos de Fe.

Presenta una textura básica porfiroesquelética y una textura plásmica esquel-inséptica.

Cutanes.

Se observan arcillanos y ferriarcillanos en una cantidad del 3,5 por 100, rodeando granos de esqueleto, usualmente delgados y de límite difuso.

Su origen es netamente presión, aun cuando en algunos casos se observa también un proceso de difusión. No hay síntomas aparentes de iluviación en ningún caso. No se observan otro tipo de cutanes. Hay síntomas claros de antecedentes iluvial que han sufrido una disrupción.

Poros.

En pequeña cantidad $(12 + 22 + 8 + 6 + 6 + 10 + 12) = 11 \%$ y están constituidos fundamentalmente por grietas de resquebrajamiento, producidas posiblemente por fenómenos de contracción y expansión.

Junto a estas grietas en mucho menor cantidad se encuentran unos canales originados muy posiblemente por raíces finas y también cavidades irregulares de pequeño tamaño (ortocavidades).

No se observa ningún otro tipo de poros.

Glébulas.

Las glébulas son muy escasas y aparecen como concentraciones difusas de óxido de Fe en el plasma y como nódulos de óxido de Fe de tamaño muy pequeño. No existiendo ningún otro tipo.

No aparece ningún otro rasgo edáfico más (ni pedotúbulos, ni cristalarias, etc.).

Horizonte B22t

Agregabilidad.

Los prismas son de mayor tamaño y más alargados que en el horizonte superior.

Esqueleto.

Presenta la misma composición, pero se encuentra en mayor cantidad y además el tamaño es más heterogéneo, encontrando restos muy pequeños que nos hablan de una mayor alteración en este horizonte. Junto a granos de 700μ , granos ligeramente superior a los 100μ . Grietas de alrededor de 30μ micras.

Plasma.

Gran cantidad del mismo aunque ligeramente inferior al del horizonte superior, con las mismas características y tipos de texturas básicas, y plásmica.

Abundantes manganesos alrededor de poros. Origen iluviación.

Cutanes.

Lo mismo que en el horizonte superior, siendo también su origen presión-difusión. Se aprecian arcillanos en un 3 por 100.

Poros.

En pequeña cantidad ($22 + 18 + 6 + 5 + 8 + 7$) = 11 % constituidos por grietas de resquebrajamiento, canales y orto y metacavidades con predominio de las primeras.

Glébulas.

Manganeso muy abundante en bandas que se encuentran rellenando o tapizando la casi totalidad de los canales existentes. También se encuentran sobre la masa basal, distribuidas igualmente en bandas.

Igualmente encontramos algunas concentraciones difusas de Fe en menor cantidad que el horizonte superior y faltan los nódulos de óxidos de Fe.

Horizonte B23t

Agregabilidad.

Igual que el anterior.

Esqueleto.

De tamaño homogéneo, y en pequeña proporción ($6 + 7 + 9 + 15 + 8$) = 9 % con naturaleza muy dispar en la que nos aparecen algunos restos escasos de CO_2Ca y restos más abundantes de roca básica (muy probable andésita), junto con cuarzo, cuarcitas y feldespatos en general. Granos mayores de 3 mm: junto a otros apenas superiores a 200μ y tamaño medio de 500μ .

La alteración es patente, como se aprecia por las transformaciones existentes (alteraciones químicas de las rocas).

Plasma.

Idéntico al de casos anteriores, con más impregnación de óxido de Fe y menos cutanes aún que en los casos anteriores.

Cutanes.

Son muy escasos, difusos, menos adherentes, rodeando granos de esqueleto y origen presión y un poco de difusión. El porcentaje de arcillanos es del 2 por 100. Signos de antecedente iluvial que ha sufrido una disrupción.

Poros (huecos).

Similares a los anteriores con más grietas, menos canales y menos cavidades. La proporción es: ($7 + 4 + 6$) = 6 %.

Grietas mayores de 50μ todas ellas.

Glébulas.

Litorelictos en cantidad media, de naturaleza posiblemente andesítica y tamaño medio y grande.

Muy escasos nódulos redondeados de CO_2Ca : de pequeño tamaño.

Abundante Mn en bandas de tipo dendroide situado como en el caso anterior tanto en canales y grietas como sobre la matriz que se individualizan en algunos casos dando nódulos irregulares de pequeño tamaño.

También se observan separaciones férricas que parecen proceder de la individualización de las andesitas y se presentan sin llegar a formar nódulos sino como manchas difusas en cantidad media.

No se aprecian otros rasgos edáficos.

RESUMEN

En el presente trabajo se estudian dos perfiles de suelos con horizonte B textural que se encuentran sobre sedimentos sueltos, con especial atención a la génesis de dichos horizontes Bt.

Las observaciones de campo, las condiciones generales del suelo con los horizontes Bt totalmente descarbonatados, la granulometría de la fracción arcilla en la que se comprueba que la relación arcilla fina/arcilla total tiene su valor máximo en estos horizontes y la composición mineralógica con abundancia de minerales smectíticos, habla en favor de la intervención del proceso de translocación de arcilla en la génesis de los horizontes Bt de estos suelos, si bien no se observan síntomas de iluviación en el estudio micromorfológico, lo cual se debe a una interrupción de cutanes de iluviación motivada por el elevado potencial de hinchamiento-retracción de estos horizontes.

Atendiendo a los horizontes diagnóstico y al régimen de humedad, los suelos estudiados se clasifican como argixerol cálcico el perfil J-3 y haploxeralf móllico el J-7.

*Departamento de Geología. Facultad de Ciencias. Universidad de Murcia.
Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura. Murcia.*

BIBLIOGRAFÍA

- ALIAS, L. J. y ALBALADEJO, J. (1976). Mineralogía y génesis de suelos con horizonte B textural sobre rocas volcánicas en el Sureste de España. An. Edaf. y Agrob. (En prensa.)
- ALIAS, L. J. y ALBALADEJO, J. (1976). Mineralogía y génesis de suelos con horizonte B textural sobre rocas calizas en el Sureste de España. An. Edaf. y Agrob. En prensa.
- BULLOCK, P. y MACKNEY, D. (1970). Clay translocation in soils. Soil Survey of England and Wales, Rothamsted Experimental Station.
- CULVER, J. R. y GRAY, F. (1968). Morphology and génesis of some grayish claypan soils of Oklahoma. II. Mineralogy and Genesis. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. Vol. 32, 851-857.
- DUCHAUFOUR, PH. (1970). Précis de pédologie. Masson. París.
- GALLAY, R. (1925). Beitrag zur Kenntniss der Tonkoagulation Kolloidchem. Beihefte, 21, 431.
- GUERRA, A. (1972). Los suelos rojos en España. Contribución a su estudio y clasificación. Publicaciones del Departamento de Suelos del Instituto de Edafología y Biología Vegetal. C. S. I. C., 21.
- NETTLETON, W. D., FLACH, K. W. y BRASHER, B. R. (1969). Argillic horizon Without clay skins. Proc. Soil Sci. Soc. Amer., 33, 121-125.
- REYNDERS, J. J. (1972). A study of argillic horizons in some soils in Morocco. Geoderma, 8, núm. 4, 267.
- SIMONSON, R. W. (1949). Genesis y classification of redyellow podzolic soils. Proc. Soil Sci. Soc. Amer., 14, 316-319.

Recibido para publicación: 19-VI-78

ESTUDIO SEDIMENTOLOGICO CONTRASTADO DE LA «FACIES MADRID» Y LA «FACIES ROJIZA DE GUADALAJARA»

CONSIDERACIONES SOBRE SU GENESIS Y EVOLUCION

p o r

L. ALCALA DEL OLMO BOBADILLA, T. BADORREY PERACHO
y J. L. MORENO ALVAREZ (†)

S U M M A R Y

SEDIMENTOLOGICAL TESTING STUDY OF THE «FACIES MADRID» AND THE «FACIES ROJIZA DE GUADALAJARA»

The object of the present work, localized in an area in the NE. of Madrid, is the study of sedimentologic characteristics of detrital materials corresponding to the so called «Facies Madrid» and «Facies rojiza de Guadalajara».

Such materials have been studied from the granulometrical, morphoscopic and mineralogical point of views, the important differences remarked among them having allowed us to define opposite directions of transport as well as some characteristic mineralogical associations.

The age of formation of both «facies» as well as their place of origin have proved different, hypotheses having been put forward on the energy of the means of transport and evolution of the materials.

Numerosos autores se han ocupado de la denominada Fosa del Tajo, tratando de establecer su evolución geológica. En la actualidad, existe un buen número de estudios que abarcan muy diversos aspectos, trabajos que sitúan a la zona en un marco lo suficientemente polémico como para no dar por definitivas las contradictorias conclusiones hasta ahora obtenidas.

Con nuestro trabajo pretendemos agregar nuevos elementos de juicio con la idea de contribuir a completar el esquema que conduzca a un mejor conocimiento final.

Este estudio es, por tanto, una fase inicial para llegar al conocimiento más perfecto del Sistema Central y de las dos Submesetas, proyecto en el que pretendemos estudiar detalladamente los caracteres sedimentológicos de sus materiales detríticos. Por ello, nos limitamos a presentar un área de muestreo e investigación con los análisis realizados y la interpretación previa de los resultados obtenidos, sin pretender emitir ninguna conclusión definitiva.

En este sentido, la fig. 1 nos muestra el área investigada que es, quizás, en la que se han realizado un mayor número de estudios últimamente. Lógicamente, al ser el área general muy amplia (alcanza para las facies detríticas que vamos a considerar más de 150 km. de amplitud en la Submeseta Sur, es decir, desde Guadalajara a Talavera de la Reina, y otros tantos en la Submeseta Norte desde Riaza a Salamanca) facilita el encuentro de facies distintas y de edades apreciablemente diferentes.

ESQUEMA DEL AREA INVESTIGADA

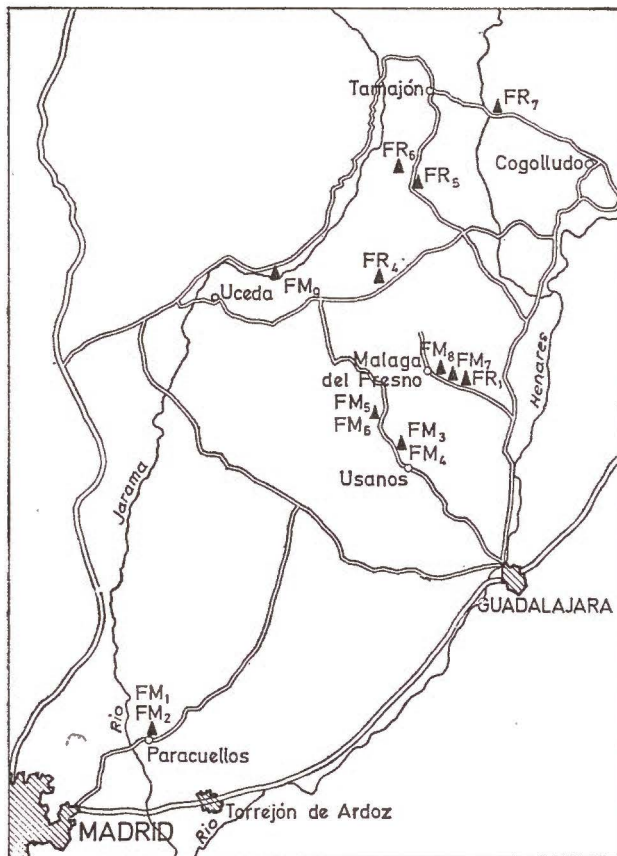


Fig. 1.—Esquema del área investigada.

La toma de muestras se ha realizado en las provincias de Madrid y Guadalajara, en unos puntos de variación elegidos a través de la cartografía de suelos, si bien la idea es completar el muestreo, tanto en este área restringida como en la totalidad de la misma.

El estudio de la distribución granulométrica de los materiales que constituyen la «facies Madrid» nos ha permitido diferenciar una serie de niveles superpuestos que se suceden de una manera rítmica. Cada episo-

dio consta de tres niveles fundamentales, correspondiendo al inferior los materiales más gruesos, mientras que en el techo de cada serie se localizan los de menores dimensiones, siendo muy frecuente el hecho de encontrar dos o más series completas superpuestas.

Curvas acumuladas correspondientes a las muestras de la "Facies Madrid"

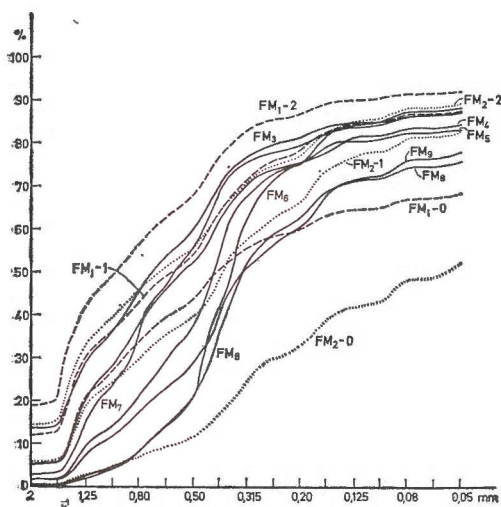


Fig. 2.—Curvas acumuladas correspondientes a las muestras de la «Facies Madrid».

Curvas acumuladas correspondientes a las muestras de la "Facies roja de Guadalajara"

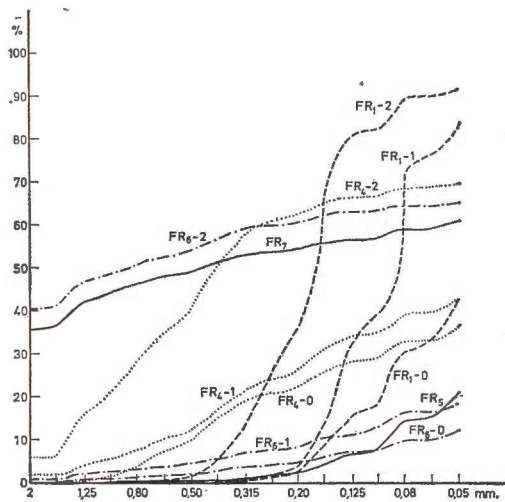


Fig. 3.—Curvas acumuladas correspondientes a las muestras de la «Facies roja de Guadalajara».

El nivel inferior presenta la mayor acumulación de material en la fase arenosa gruesa, con porcentajes que normalmente oscilan entre el 25 y 30 por 100 del total de la muestra, siendo también considerable su contenido en elementos con una dimensión superior a los 2 mm.

El nivel intermedio ofrece las proporciones más elevadas en la arena fina, hallándose su porcentaje medio próximo al 25 por 100.

Finalmente, en el nivel superior se observa un acusado predominio de los materiales más finos, constituidos por limo y arcilla, llegando a alcanzarse porcentajes del 30 al 50 por 100.

Si tenemos en cuenta la situación de los puntos de muestreo se observa, en líneas generales, una disminución de los elementos de mayores dimensiones a medida que nos desplazamos hacia el E., disminución que se compensa con el paulatino aumento de los materiales más finos.

En la figura 2 podemos ver las curvas acumuladas correspondientes a las muestras de la «facies Madrid». Común a todas ellas es la marcada inflexión que se establece en los tamaños superiores, concretamente en una dimensión próxima a 1,60 mm., a consecuencia de la diferente proporción de gravas y arenas que entran a formar parte de su granulometría. La parte restante de las curvas se eleva con mayor o menor ampli-

DISTRIBUCION GRANULOMETRICA %

PARAMETROS E INDICES GRANULOMETRICOS

Muestra núm.	Grava 2 mm.	A. gruesa 2-1 mm.	A. media 1-0,5 mm.	A. fina 0,5-0,2mm.	A. muy fina 0,2-0,5 mm.	Fracción 0,05 mm.	Q ₁	Q ₂	Q ₃	So	Sc Q ₁ - Q ₃	SK	
«FACIES MADRID»	FM ₁ - 0	5.33	21.56	16.67	16.33	8.35	31.75	1.075	0.406	—	—	—	
	FM ₁ - 1	12.09	24.20	17.92	24.41	9.51	11.60	1.368	0.598	0.267	2.26	1 101	1.02
	FM ₁ - 2	18.85	30.31	18.59	18.87	5.30	8 05	1.560	0.971	0.419	1 92	1.141	0.69
	FM ₂ - 0	0.55	3.92	7.10	21.20	19.53	47.67	0.312	0.057	—	—	—	—
	FM ₂ - 1	5.78	18.40	15.38	26.55	16.86	17.01	0.970	0 390	0.146	2.57	0 824	0.93
	FM ₂ - 2	14.39	24.87	16.25	21.71	11.91	10.86	1.435	0.699	0.244	2 42	0.191	0.78
	FM ₃ -	13.69	22.58	23.50	21.42	6.21	12.58	1.345	0.708	0 345	1.97	1.000	0.92
	FM ₄ -	1.76	12.34	23.48	37.88	8.75	15.57	0.710	0.419	0 210	1.83	0.500	0 84
	FM ₅ -	5.25	22.59	24.40	23.28	7.63	16.83	1.110	0.550	0.212	2.28	0.898	0.77
	FM ₆ -	0.37	4.04	16.56	54.29	13.18	11.54	0.477	0.361	0.205	1.52	0.272	0.75
	FM ₇ -	2.79	20.51	32.10	23.93	8 25	12.41	0.959	0.590	0.325	1 72	0.634	0 89
	FM ₈ -	0.33	3.52	17.22	41.53	13.32	24.06	0.463	0 327	0 057	2.84	0.406	0.24
FM ₉ -	1.74	9.65	16.98	31.97	17.64	22.00	0.576	0.326	0.084	2.61	0 492	0.45	
«FACIES ROJIZA DE GUADALAJARA»	FR ₁ - 0	0.00	0.00	0.04	2.68	40.42	56.83	0.092	—	—	—	—	—
	FR ₁ - 1	0.00	0.01	0.08	3.66	80.20	16.04	0.139	0.084	0 073	1.37	0.066	1.43
	FR ₂ - 2	0.00	0.05	1.41	34.47	55.70	8.35	0.253	0.171	0.145	1.31	0 108	1.25
	FR ₄ - 0	0.00	1.38	8.65	12.28	14.18	63.51	0.170	—	—	—	—	—
	FR ₄ - 1	1.63	3.69	6.76	13.93	16 63	57.29	0.216	—	—	—	—	—
	FR ₄ - 2	5.87	15.08	19.34	22.13	7.22	30.29	0.870	0.404	—	—	—	—
	FR ₅ -	0.00	0.12	0.28	1.93	18.96	78.69	—	—	—	—	—	—
	FR ₆ - 0	0.06	0.76	0.98	2.83	7.60	87.75	—	—	—	—	—	—
	FR ₆ - 1	0.74	1.68	1.92	4.02	10 44	81.18	—	—	—	—	—	—
	FR ₆ - 2	40.37	8.05	5.53	6.62	4.63	34.74	—	0.845	—	—	—	—
	FR ₇ -	35 78	8.28	5.08	5.18	6.46	39.19	—	0.455	—	—	—	—

ANÁLISIS MINERALÓGICO

Muestra	Porcentaje de minerales densos transparentes entre sí													Alteritas	Porcentajes de minerales ligeros									
															Cuarzo.....	Feldespatos K	Feldespatos Ca - Na....	Biotita.....	Moscovita..	Agregados minerales..	Alteritas ...			
	Opacos naturales...	Opacos de alteración	Turmalina..	Circón.....	Granate.....	Rutilo	Anatasa....	Estaurrolita.	Distena	Andalucita.	Silimanita ..	Epidota	Micas.....									Clorita.....	Apatito	
FM ₁ - 0	32	9	19	13	21	—	—	2	—	7	2	1	30	5	—	19	43	52	3	—	2	—	—	—
FM ₁ - 1	25	3	26	23	11	—	—	2	1	13	—	2	22	1	—	18	44	54	1	—	1	—	—	—
FM ₁ - 2	10	1	12	3	4	—	—	—	—	7	3	1	70	—	—	38	39	56	4	1	—	—	—	—
FM ₂ - 0	6	—	3	—	2	—	—	—	—	—	—	3	88	—	1	11	42	47	4	3	5	—	—	1
FM ₂ - 1	21	8	22	7	11	—	—	1	—	11	—	2	44	—	2	20	43	51	5	1	—	—	—	—
FM ₂ - 2	9	6	17	4	4	—	2	—	—	9	—	10	54	—	—	7	33	62	2	1	2	—	—	—
FM ₃	5	8	28	—	6	—	—	44	4	5	12	1	—	—	—	7	47	47	2	1	1	2	—	—
FM ₄	3	18	40	—	4	—	—	38	2	2	7	3	4	—	—	17	47	37	5	3	1	6	1	1
FM ₅	11	—	18	4	6	—	—	43	—	8	13	2	5	—	1	26	51	39	1	2	1	5	1	2
FM ₆	22	14	30	4	8	—	—	32	—	11	5	4	5	—	1	39	49	42	3	1	—	3	3	2
FM ₇	40	18	20	8	15	1	—	40	—	4	4	3	5	—	—	23	50	36	4	6	4	—	—	—
FM ₈	29	63	32	4	6	1	—	46	—	4	3	1	9	—	—	26	60	29	7	2	—	1	1	—
FM ₈	24	28	25	20	5	—	—	38	—	6	3	1	2	—	—	44	64	20	10	6	—	—	—	—
FR ₁ - 0	120	135	15	6	1	2	—	31	—	30	—	4	11	—	—	8	57	34	4	5	—	—	—	—
FR ₁ - 1	89	102	2	1	—	1	—	56	—	39	—	—	1	—	—	1	79	1	14	3	—	3	—	1
FR ₁ - 2	72	48	5	1	1	—	—	67	—	25	—	—	1	—	—	16	68	—	27	1	1	3	—	—
FR ₄ - 0	39	30	15	16	—	—	—	58	—	6	2	—	3	—	—	1	70	10	4	3	—	—	—	13
FR ₄ - 1	36	28	24	42	—	—	—	28	—	4	1	—	1	—	—	1	50	26	13	8	3	—	—	—
FR ₄ - 2	21	23	15	2	—	1	—	31	—	20	30	—	1	—	—	10	60	32	2	1	3	2	—	—
FR ₅	87	53	6	2	—	—	—	62	—	29	—	—	1	—	—	1	86	—	8	6	—	—	—	—
FR ₆ - 0	125	690	23	2	—	—	—	75	—	—	—	—	—	—	—	60	59	—	41	—	—	—	—	—
FR ₆ - 1	124	674	10	3	—	5	—	68	—	10	1	—	2	—	1	53	52	—	44	—	—	2	—	2
FR ₆ - 2	69	80	3	5	—	—	—	91	—	1	—	—	—	—	—	120	34	—	31	—	—	—	—	35
FR ₇	53	170	13	25	—	4	—	55	—	2	—	—	1	—	—	98	72	4	10	1	—	3	—	10

tud, siendo igualmente común la presencia de una serie de sucesivas ondulaciones que originan pequeñas mesetas, a consecuencia de aportes de material de diferentes dimensiones, siendo la más acusada la que se sitúa a la altura de 0,20 mm.

En líneas generales, las curvas adoptan una clara facies parabólica, indicándonos un escaso grado de evolución con transporte incompleto de materiales y deposición de tipo semiforzado, especialmente en las muestras más occidentales.

Los parámetros e índices granulométricos calculados nos dan un valor para la mediana que se sitúa normalmente en la fase arenosa fina o media, valores que, salvo en raras excepciones, no sobrepasan los 0,5 mm. En la mitad de las muestras, el índice de clasificación supera netamente la cifra de 2, indicándonos una clasificación de regular a mala, localizándose en la zona más oriental los depósitos mejor clasificados. El índice de asimetría, con valores no muy alejados de 1, nos marca la escasa importancia de los aportes recibidos, excepción hecha de la muestra FM₈, donde desciende hasta situarse en 0,24, valor lógico si tenemos en cuenta su situación, ya que se halla localizada junto al depósito más suroccidental de los materiales de la «facies rojiza de Guadalajara», habiendo sufrido importantes contaminaciones de dicha procedencia.

La denominada «facies rojiza» presenta una secuencia estratigráfica bastante similar a la ya observada en el conjunto precedente, ya que se superponen claramente los tres niveles antes diferenciados, llegando a sobrepasar de la media docena el número de secuencias completas que se pueden observar en determinados puntos.

No obstante, la distribución granulométrica presenta acusadas diferencias con el conjunto precedente al encontrarse las mayores acumulaciones de material en la fracción limo y arcilla con porcentajes que, en algunos casos, llegan a ser superiores al 80 por 100. En las muestras situadas más próximas a la zona de origen adquieren una extraordinaria importancia los materiales más gruesos, siendo muy frecuente encontrar elementos incluidos en el tamaño de los bloques. El resto de las fracciones se halla muy escasamente representado, si bien se eleva ligeramente su proporción en las muestras localizadas más al SW.

Las curvas acumuladas de estas muestras (fig. 3) nos ilustran muy claramente lo expuesto hasta el momento. Aquellas que se encuentran situadas en posición más nororiental adoptan una traza sensiblemente horizontal (caso de las muestras FR₇ y FR₆), la cual se va inclinando paulatinamente a medida que nos desplazamos hacia el S. y SW. Las principales inflexiones se localizan en los tamaños inferiores, especialmente en las dimensiones de 0,20 y 0,10 mm., siendo debidas, más que a un aporte de material nuevo, a rotura del preexistente, por cuanto las partículas resultantes de esta fracturación se acumulan en los tamaños finos y muy finos.

Por consiguiente, encontramos curvas incluidas tanto en la facies parabólica como en la hiperbólica, correspondiendo las primeras, de menor evolución y muy corto transporte de materiales, a las muestras localizadas en la zona NE., mientras que las de aspecto hiperbólico se sitúan en la SW., donde la evolución se manifiesta mucho más acusada, habiendo sufrido los materiales un transporte más dilatado.

Dada la disparidad observada entre las diferentes curvas, la mediana

presenta valores muy diferentes pero perfectamente escalonados con arreglo a la disposición de las muestras sobre la superficie estudiada, disparidad que igualmente se aprecia en las cifras correspondientes al índice de clasificación, al encontrarse valores muy elevados en la zona nororiental y bajos, que incluso podrían clasificarse como excelentes, en la suroccidental. Dada la pequeña importancia de los aportes recibidos, el índice de asimetría adopta valores más o menos próximos a 1 en la mayor parte de las muestras.

El estudio morfoscópico de los granos de cuarzo, que se ha realizado en un tamaño medio de 0,70 mm., nos proporciona para las muestras de la «facies Madrid» un neto predominio de los granos de tipo no desgastado, con porcentajes que oscilan entre el 80 y el 93 por 100, localizándose los valores más elevados en el extremo suroccidental de la zona estudiada, junto a Paracuellos, para ir descendiendo progresivamente hacia la oriental, mientras que el resto está constituido por granos subredondeados brillantes cuyos porcentajes aumentan en ese mismo sentido.

En las muestras correspondientes a la «facies rojiza de Guadalajara», se observa igualmente un acusado predominio de los granos no desgastados, si bien en menor proporción que en el conjunto precedente, ya que sus porcentajes varían entre el 60 y 80 por 100, correspondiendo el resto a los subredondeados brillantes, los cuales se presentan rotos en la mayor parte de los casos a consecuencia de un transporte violento que ha dado lugar a la fracturación de granos ya previamente redondeados en una etapa anterior, lo que hace que en los tamaños inferiores a 0,5 mm. el predominio de los no desgastados sea casi total.

Las curvas morfoscópicas nos indican, para la «facies Madrid», un medio de transporte hidrodinámico de relativa violencia, orientado según una dirección NW-SE, mientras que en el caso de la «facies rojiza» el transporte, también de carácter hidrodinámico, estuvo orientado hacia el S y SW y realizado de forma más violenta, llegándose a equilibrar las acciones de desgaste y rotura de granos.

La composición mineralógica de estos materiales ofrece claras diferencias entre ambas formaciones. La asociación mineralógica característica de la «facies Madrid» viene dada por el conjunto estaurolita-turmalina, junto con menores proporciones de andalucita, circón y granate para las más cercanas al área fuente de los sedimentos, mientras que para las más alejadas la asociación viene definida por el conjunto biotita-turmalina, siendo sensiblemente parecidos los restantes componentes. Todo ello, nos muestra la directa influencia de un área madre constituida por rocas intrusivas y metamórficas de alto grado de metamorfismo. La presencia de una gran cantidad de micas así como de epidota, aunque en menor proporción, determina la escasa meteorización que ha sufrido el conjunto al tratarse de minerales fácilmente alterables.

La «facies rojiza» presenta como asociación característica la constituida por estaurolita-andalucita junto con turmalina, circón y biotita como minerales accesorios. Los minerales opacos naturales y de alteración son extraordinariamente abundantes, sobrepasando ampliamente a los observados en las muestras de la «facies Madrid». Las alteritas son relativamente escasas y tan solo aumentan en las muestras FR₆ y FR₇.

La desaparición de micas y otros minerales fácilmente alterables debe

interpretarse como debida al mayor grado de madurez que presentan estos sedimentos en relación a los estudiados con anterioridad. Su composición media nos indica un área fuente constituida por rocas metamórficas de grado medio.

Al igual que para la fracción densa, las diferencias se hacen ostensibles entre una y otra formación al considerar los minerales ligeros.

Las muestras pertenecientes a la «facies Madrid» presentan como minerales predominantes el feldespato potásico y al cuarzo con porcentajes que oscilan entre el 45 y 50 por 100 para el primero y entre el 40 y 45 por 100 para el segundo, mientras que plagioclasas y micas no alcanzan en conjunto valores de importancia. Por el contrario, en la «facies rojiza» se observa un predominio absoluto de cuarzo, el cual alcanza valores superiores al 55 por 100 en la mayor parte de las muestras. Es escaso o incluso llega a desaparecer el feldespato potásico, presentando las plagioclasas valores muy dispares entre unas muestras y otras. Las micas son igualmente escasas, encontrándose más alteradas que en la facies anterior.

CONCLUSIONES

Con arreglo a las características descritas, suponemos la presencia de un medio hidrodinámico de transporte en dirección contraria a la que presentan las redes de drenaje actual, aspecto que se deduce de la disposición y particularidades de la «facies Madrid».

Los materiales que constituyen la «facies rojiza» fueron transportados hasta su situación actual por un medio que poseía mayor agresividad que aquel que dio lugar a la «facies Madrid».

La diferente posición de ambas facies implica la existencia de dos épocas de aporte de materiales; estos aportes fueron dirigidos en sentidos opuestos.

Genéticamente, la «facies Madrid» procede de un área constituida por materiales granítico-neisicos. La «facies rojiza de Guadalajara» muestra, sin embargo, una estrecha relación con materiales metamórficos de grado medio, lo que señala como área fuente de la misma a los esquistos y cuarcitas de la Sierra de Ayllón.

Los datos obtenidos nos llevan a considerar como diferentes las épocas de formación de ambas facies, debiendo presentarse cronológicamente una serie de diferencias cuyo más exacto conocimiento será la meta a seguir en sucesivos trabajos.

RESUMEN

El objeto del presente trabajo, localizado en un área al NE. de Madrid, es el estudio de las características sedimentológicas de los materiales detríticos correspondientes a las denominadas «Facies Madrid» y «Facies rojiza de Guadalajara».

Estos materiales han sido estudiados desde los puntos de vista granulométrico, morfoscópico y mineralógico, encontrándose importantes diferencias entre ellos, lo que nos lleva a definir direcciones opuestas de transporte así como unas asociaciones mineralógicas características para cada una de ellas.

Tanto la edad de formación de ambas «facies» como su lugar de origen son diferentes, permitiendo el estudio realizado la emisión de una serie de hipótesis sobre la energía de los medios de transporte y la evolución de los materiales.

*Departamento de Suelos.
Instituto de Edafología y Biología Vegetal. C. S. I. C. Madrid.*

Recibido para publicación: 19-VI-78

LOS SUELOS DEL BARRANCO HONDO (SIERRA NEVADA)

I. TIPOLOGIAS Y FACTORES FORMADORES

P O R

R. DELGADO CALVO-FLORES, E. BARAHONA FERNANDEZ y J. LINARES

S U M M A R Y

THE SOILS OF THE BARRANCO HONDO (SIERRA NEVADA). I. TYPÓLOGY AND SOIL-FORMING FACTORS

The studied area is located within the Dilar river basin at elevations between 2,000 and 2,500 meters. Quartzites and micaschists are the most widespread rocks.

The oldest geomorphic surfaces (slopes less than 20°) are occupied by Entic Cryumbrepts, while in the younger ones (slopes over 20°) Lithic Cryorthents are the dominant soils. Differences in profile development for the Cryumbrepts depend mainly on slight differences in relief.

I N T R O D U C C I Ó N

El área estudiada se localiza en la Hoja 20-42 (Guejar Sierra) del Servicio Cartográfico del Ejército, dentro del rectángulo cuyos vértices están determinados por las coordenadas U. T. M., 600031, 600010, 627010 y 627031. Tiene forma irregular, al ser la cuenca del arroyo que discurre por el Barranco Hondo, que es subsidiario del Barranco de Dilar en la margen Sur (fig. 1).

Desde el punto de vista geológico, el área pertenece a las unidades Béticas de las cordilleras Béticas, aflorando en ellas rocas Nevado-Filábrides del Manto del Mulhacén (Unidad Caldera) y Manto del Veleta (Unidad de las Yeguas) (Puga, 1976). Como rocas predominantes se pueden citar micasquistos, cuarcitas, anfíbolitas y mármoles.

La vegetación existente pertenece a las asociaciones Piornos y Enebros Septentrionales y Tomillares de Alta Montaña (Espinosa Fernández, 1976); estas unidades están muy relacionadas entre sí, porque la segunda ocupa áreas de degradación de la primera. También se encuentran pequeñas extensiones ocupadas por cultivos abandonados.

A escala regional, el clima de la zona está clasificado, en el esquema de Thornthwaite, como semiárido, DB₂'db₄' (Delgado et al., 1972). Para la determinación del régimen de temperatura del suelo, con fines clasi-

ficatorios, se han utilizado datos más concretos pertenecientes a zonas adyacentes de igual cota (Prieto, 1975; temperaturas medidas en el Albergue Universitario). A 2.500 metros de altura (cota superior del área), la temperatura media anual es de 4,73 °C, la temperatura media de los meses de invierno (diciembre, enero y febrero) — 3,30 °C y la de verano (junio, julio y agosto) 13,2 °C; la diferencia media entre verano e invierno es, por tanto, de 16,5 °C. A 2.000 metros de cota (límite infe-

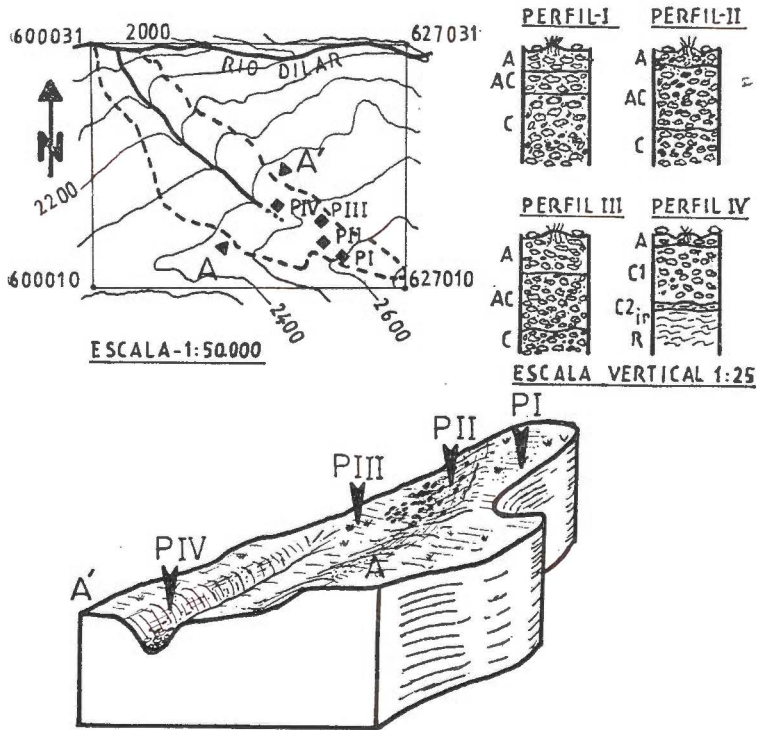


Fig. 1.—Mapa de situación de los perfiles, bloque diagrama y esquema de los suelos estudiados.

rior), las temperaturas reinantes se han calculado a partir de las anteriores y un factor de variación temperatura/cota de 0,5 °C/100 metros; este dato es la media de los que suministran Prieto (op. cit.) y Barahona (1977). La temperatura media más probable es de 7,20 °C, la temperatura de invierno de — 0,80 °C y la de los meses de verano de 15,7 °C.

De acuerdo con los datos anteriores y los límites de temperatura de la «Soil Taxonomy» (Soil Survey Staff, 1975), los suelos de las zonas altas pertenecen al régimen cryico y los de las bajas están en el límite frígido-mésico. Para hacer esta última apreciación, se ha tenido en cuenta que la temperatura del suelo es siempre algo superior a la de la atmósfera.

La precipitación dentro del área se puede suponer al menos de

627 mm (Prieto, 1975 y 1971; datos pertenecientes al Albergue Universitario). El carácter dudoso de esta cifra, como ya indica Prieto, se debe a que los vientos reinantes y las precipitaciones en forma de nieve falsean los datos de los pluviómetros. La nieve o la lluvia se concentra de noviembre a mayo, y el suelo se encuentra cubierto de nieve cuatro o cinco meses al año.

Con respecto al relieve, baste apuntar que las pendientes oscilan entre suavemente inclinadas (2-6 por 100) y muy escarpadas (más de 55 por 100), siendo dominantes las escarpadas (25-55 por 100). Posteriormente se tratará el factor formador relieve con más detalle.

Sólo resta añadir, en este breve repaso a las características generales de la zona, que los suelos que los distintos autores han descrito entre 2.000 y 2.500 metros, sobre rocas madres parecidas a las encontradas, son tierras pardas y ranker mulliformes algo pardos (Hoyos de Castro y Medina Ortega, 1951; Frank, 1956; Raya, 1959; Párraga Martínez, 1974). El límite altitudinal que separa el clímax de ambos tipos de suelos, depende en gran medida de la orientación.

ESTUDIOS DE CAMPO Y DESCRIPCIÓN DE MUESTRAS

Geomorfología

La historia geomorfológica de Sierra Nevada es bastante compleja, ya que ha pertenecido a diversos dominios morfoclimáticos a través del tiempo. Por esta causa, en el área objeto del estudio, se han detectado diversas superficies, correspondientes a otras tantas etapas de erosión del arroyo Hondo y del río Dilar.

En nuestros días, la cota máxima de Sierra Nevada no alcanza el límite de nieves permanentes, y casi todos los autores están de acuerdo en admitir que el periglaciario se encuentra por encima de los 2.000 metros (Messerli, 1965). El Barranco Hondo presenta las siguientes formas y procesos periglaciares:

- Reptación de los suelos a favor de la ladera, por los fenómenos de helada y deshelada.
- Soliflucción en las pendientes fuertes, en forma de pequeñas coladas de corto desplazamiento.
- Gelifracción intensa que cubre las pendientes de cantos y llega a formar verdaderos canchales.

Estudio edáfico y descripción de los perfiles de suelo

El estudio de campo se ha basado fundamentalmente en las superficies geomórficas, tratando de establecer el suelo modal de cada una de ellas. En las facetas más antiguas (pendientes inferiores a 20°) se encontraron ranker pardos (Kubiena, 1952), con pequeñas diferencias entre sí, que dependían de la posición topográfica. En las facetas más modernas (pendientes mayores de 20°) los suelos detectados fueron ran-

ker grises (Kubiéna, 1952); estas superficies son las más cercanas al arroyo Hondo y al río Dilar.

El área de muestreo (fig. 1), es una pequeña parte de la máxima cota, escogida porque estaba libre de influencias ganaderas y agrícolas, y contenía los diversos perfiles detectados en el estudio de campo. En ella se muestrearon y describieron los perfiles que a continuación se detallan:

Perfil I

Fecha de muestreo: 7-11-1975.

Hoja topográfica: 20-42 del Servicio Cartográfico del Ejército.

Coordenadas U. T. M.: 621012.

Altitud: 2.605 metros.

Pendiente: Suavemente inclinada (2°).

Vegetación: Asociación Piornos y Enebros Septentrionales.

Evidencias de erosión: Eólica.

Evidencias de deposición: Ninguna; los fragmentos encontrados en la superficie se acumulan por erosión diferencial.

Microtopografía: Típica de erosión eólica del horizonte superior; se crean pequeños montículos debajo de las plantas.

Material de partida: Micasquisto feldespático de la Unidad Caldera (Manto del Mulhacén). Color verdoso, tamaño de grano medio. Son visibles a simple vista las micás, feldespatos, cloritas, granos de cuarzo e impregnaciones de óxidos de hierro.

Clasificación: Ranker pardo.

Descripción de los horizontes de suelo:

- A De 0 a 10 cm; pardo oscuro (10 YR 3,5/3) en seco, pardo muy oscuro (10 YR 2/2,5) en húmedo; franco arenoso con grava; estructura migajosa débil; bastantes raíces; no calcáreo; límite con el horizonte subyacente, neto y casi plano.
- AC De 10 a 20 cm; pardo amarillento (10 YR 5/5) en seco, pardo oscuro (10 YR 3/3) en húmedo; franco arenoso con mucha grava; estructura más débil que el anterior; bastantes raíces, aunque menos que el suprayacente; no calcáreo; límite inferior neto y casi plano.
- C Más de 20 cm (muestreado hasta 50 cm); amarillo parduzco (10 YR 6/8) en seco, pardo amarillento oscuro (10 YR 4/5) en húmedo; franco arenoso con mucha grava; estructura de grano suelto; pocas raíces; no calcáreo. Tiene aspecto, sobre todo en la parte más profunda, de roca madre triturada y alterada.

Perfil II

Fecha de muestreo: 7-11-1975.

Hoja topográfica: 20-42 del Servicio Cartográfico del Ejército.

Coordenadas U. T. M.: 620014.

Altitud: 2.570 metros.

Pendiente: Escarpada (15°).

Vegetación: Asociación Piornos y Enebros Septentrionales.

Evidencias de erosión: Eólica.

Evidencias de deposición: La superficie de la ladera se encuentra casi enlosada por los cantos caídos de zonas rocosas más elevadas.

Microtopografía: Creada por la erosión eólica y la reptación; los montículos conservados debajo de las plantas se alinean perpendicularmente al movimiento del suelo.

Material de partida: Micasquisto feldespático con granates y grafito, de la Unidad Caldera (Manto del Mulhacén). Color gris oscuro, tamaño de grano medio. Son visibles a simple vista las cloritas y algunas bandas de grafito.

Clasificación: Ranker pardo.

Descripción de los horizontes de suelo:

- A De 0 a 7 cm; pardo grisáceo oscuro (10 YR 4/2,5) en seco, pardo muy oscuro (10 YR 2,5/2) en húmedo; franco arenoso con mucha grava; estructura

- migajosa débil; muchas raíces; no calcáreo; límite con el horizonte subyacente, neto y algo ondulado.
- AC De 7 a 33 cm; pardo amarillento (10 YR 4,5/4) en seco, pardo amarillento oscuro (10 YR 3/4) en húmedo; franco arenoso con mucha grava; estructura más débil que el anterior; bastantes raíces; no calcáreo; límite con el horizonte subyacente neto y algo ondulado.
- C Más de 33 cm (muestreado hasta los 61 cm); pardo amarillento (10 YR 5,5/7) en seco, pardo amarillento oscuro (10 YR 4/6) en húmedo; franco arenoso con mucha grava; estructura de grano suelto; pocas raíces; no calcáreo. En las partes más profundas comienza a parecerse a roca madre disgregada.

Perfil III

Fecha de muestreo: 13-11-1975.

Hoja topográfica: 20-42 del Servicio Cartográfico del Ejército.

Coordenadas U. T. M.: 620015.

Altitud: 2.550 metros.

Pendiente: Inclinado (5°).

Vegetación: Asociación Piornos y Enebro Septentrionales.

Evidencias de erosión: Eólica, pero de menos cuantía que en los perfiles anteriores.

Evidencias de deposición: En la misma faceta donde se sitúa el perfil hay áreas completamente enlosadas, que en algunos casos llegan a ser canchales.

Microtopografía: Creada por la erosión eólica.

Material de partida: Micasquisto granatífero con grafito y biotita, de la Unidad Caldera (Manto del Mulhacén). Color gris oscuro y tamaño de grano fino. Son visibles a simple vista granates, cloritas, biotita y lechos enriquecidos en cuarzo paralelos a a esquistosidad principal.

Clasificación: Ranker pardo.

Descripción de los horizontes de suelo:

- A De 0 a 15 cm; pardo (10 YR 4/3) en seco, pardo oscuro (10 YR 3/2,5) en húmedo; franco arenoso con grava; estructura migajosa débil; no calcáreo; muchas raíces; límite con el horizonte subyacente, neto y casi plano.
- AC De 15 a 40 cm; pardo amarillo oscuro (10 YR 4/4) en seco, pardo oscuro (10 YR 3,5/3,5) en húmedo; franco arenoso con mucha grava; estructura migajosa, pero ya muy poco visible (se podría considerar de grano suelto); no calcáreo; bastantes raíces; límite con el horizonte subyacente, neto y algo ondulado.
- C Más de 40 cm (muestreado hasta 55 cm); pardo amarillo (10 YR 5,5/7) en seco, pardo amarillento oscuro (10 YR 4,5/5) en húmedo; franco arenoso con mucha grava (los cantos son de micasquistos en diversos grados de alteración); estructura de grano suelto; no calcáreo; pocas raíces.

Perfil IV

Fecha de muestreo: 13-11-1975.

Hoja topográfica: 20-42 del Servicio Cartográfico del Ejército.

Coordenadas U. T. M.: 616017.

Altitud: 2.460 metros.

Pendiente: Escarpada (25°).

Vegetación: Asociación Piornos y Enebro Septentrionales.

Evidencias de erosión: Abundantes, por gravedad y por agua; la primera se manifiesta como soliflucción y la última origina pequeños surcos y cárcavas.

Evidencias de deposición: Hay abundantes cantos de diversos tamaños y pequeñas coladas de soliflucción.

Microtopografía: Se podría definir como la creada por un exceso de pendiente: la superficie del suelo es dishomogénea, con abundantes muestras de erosión y deposición.

Material de partida: Micasquisto grafitoso con cloritoide, de la Unidad de las Yeguas (Manto del Veleta). Color gris acerado y esquistosidad marcada. Tamaño de grano fino. Son visibles a simple vista los lechos de cuarzo y mica alternantes y para-

delos a la esquistosidad principal, venillas de cuarzo que no se adaptan a ella, y óxidos de hierro que impregnan partes de la masa.

Clasificación: Ranker gris.

Descripción de los horizontes de suelo:

- A De 0 a 5 cm; color pardo amarillento claro (2,5 Y 6/3,5) en seco, pardo oliva (2,5 Y 4/3) en húmedo; franco arenoso con mucha grava; estructura migajosa muy débil; no calcáreo; pocas raíces; límite con el horizonte subyacente, gradual y plano.
- C₁ De 5 a 30 cm. Es un material que conserva la estructura de la roca madre, a pesar de lo cual está suelto. Entre las gravas hay tierra fina, que será de alteración y del horizonte superior. Color pardo oliva claro (2,5 Y 5,5/3,5) en seco, pardo grisáceo oscuro (2,5 Y 4/2) en húmedo; franco arenoso con mucha grava; estructura de grano suelto; no calcáreo; límite con el horizonte subyacente, neto y muy irregular.
- C_{2,ir} De 30 a 35 cm. Es una capa de roca madre alterada, con una gran cantidad de óxidos de hierro. Presenta dureza casi de roca, la cual se encuentra subyacente.

MÉTODOS DE LABORATORIO

Las muestras de suelo, previo secado a temperatura ambiente, se tamizaron a 2 mm para separar y cuantizar grava y tierra fina. Parte de la tierra fina se molió en mortero mecánico, y sobre ella se efectuaron las siguientes determinaciones:

— Materia orgánica: Oxidación en húmedo con dicromato potásico y valoración con sal de Mohr.

— Hierro libre: Extracción con citrato sódico y ditionito sódico (Holmgren, 1967).

— Capacidad y bases de cambio: Método del acetato amónico.

En la fracción sin moler se determinaron:

— Análisis mecánico: Tamizado y sedimentación, efectuando las extracciones con la pipeta de Robinson; el dispersante utilizado fue el hexametáfosfato de sodio y la clasificación de tamaños seguida, la del U. S. D. A. (Soil Survey Staff, 1951).

— Retención de agua a 1/3 y 15 atmósferas: Membrana de Richards.

— pH sobre pasta saturada en agua.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados se expresan en la tabla I. La conclusión más palpable es la escasa evolución de todos los suelos en estudio, puesta de manifiesto por las texturas arenosas y la pequeña diferenciación de horizontes. También se puede observar, que los grupos de suelos establecidos en el campo son muy diferentes, desde el punto de vista analítico, debiéndose estas diferencias a la edad de los suelos y a la pendiente (relieve).

A continuación se van a discutir algunos de los valores que se recogen en la tabla I:

TABLE I

Propiedades físicas y químicas estudiadas

Perfil	Horizonte	Profundidad cm	Grava > 2 mm %	Arena 2-0,05 mm %	Limo 0,05-0,002 mm %	Arcilla < 0,002 mm %	pH	M. orgánica %	Fe libre %	Retención de agua		C. cambio meq/ 100 gr	Bases de cambio				Sat. bases %
										15 at. %	1/3 at. %		Na ⁺ meq/ 100 gr	K ⁺ meq/ 100 gr	Ca ²⁺ meq/ 100 gr	Mg ²⁺ meq/ 100 gr	
I	A	0-10	40	73,1	18,6	8,3	5,6	5,8	1,14	9,18	16,87	10,74	0,68	1,00	3,11	1,44	58,01
I	AC	10-20	55	56,2	38,3	5,6	5,5	1,4	1,04	6,99	22,81	6,74	0,39	0,54	0,89	1,00	41,84
I	C	> 20	65	54,0	41,0	3,9	5,6	0,6	1,16	5,33	21,87	7,23	0,50	0,59	1,12	1,26	47,55
II	A	0-7	55	58,2	32,3	10,2	5,6	4,5	1,20	8,29	22,20	9,12	0,50	0,89	2,70	0,99	55,70
II	AC	7-33	53	55,0	35,5	9,5	5,4	1,8	1,48	7,91	19,81	7,36	0,45	0,71	1,22	0,72	42,90
II	C	> 33	59	70,3	25,8	3,9	5,5	0,4	1,38	3,51	14,00	4,96	0,66	0,84	0,44	0,48	48,62
III	A	0-15	40	60,8	27,5	11,8	5,3	6,6	1,78	9,64	23,60	10,37	0,28	0,79	1,74	0,65	33,37
III	AC	15-40	60	53,6	36,3	10,2	5,4	2,3	2,21	8,22	23,00	8,39	0,50	1,04	1,22	0,92	43,84
III	C	> 40	82	52,9	33,3	14,7	5,1	0,7	2,80	7,87	26,15	8,16	0,33	0,97	0,70	0,63	32,23
IV	A	0-5	54	61,2	32,4	6,4	5,9	0,8	2,01	5,05	18,90	5,56	0,46	1,03	1,12	0,50	55,90
IV	C ₁	5-30	82	65,2	27,4	7,5	5,5	0,3	1,85	6,37	16,27	6,88	0,46	1,21	1,17	0,49	51,96
IV	C _{2r}	30-35	99							10,58							

Los porcentajes están referidos a tierra fina, salvo los de gravas que son con respecto al total de suelo y los de saturación en bases que están referidos a capacidad de cambio. Los miliequivalentes de capacidad y bases de cambio también se refieren a tierra fina.

Arcilla

Considerando sólo los tres primeros perfiles, se observa que el porcentaje de arcilla crece desde el suelo I al III y del horizonte C al A. La última tendencia citada no podría aplicarse al perfil III, porque presenta un C cuya tierra fina es más rica en arcilla que A. Este horizonte C ha sido calificado como una capa de meteorización profunda, que originaría un B si continuara en dicha línea. Se ha descartado la posibilidad de denominar a este horizonte como B, por su carácter esquelético-fragmental.

El suelo IV no plantea problemas especiales, ya que el porcentaje de arcilla es prácticamente constante en profundidad.

Materia orgánica

El espesor del conjunto de horizontes enriquecidos en materia orgánica (A + AC), crece del perfil I al III y disminuye bruscamente en el IV. El suelo III tiene, además del máximo espesor, el mayor porcentaje de materia orgánica.

Hierro libre

Analizando primero las tendencias de los ranker pardos, se observa que el porcentaje de hierro tiende a aumentar desde el suelo I al III y con la profundidad. Para determinar la causa de estas variaciones, se ha calculado en los horizontes la razón Porcentaje de hierro libre/ Porcentaje de arcilla (tabla II).

TABLA II

Razones hierro libre/arcilla

	Perfil I			Perfil II			Perfil III		
	A	AC	C	A	AC	C	A	AC	C
Hierro/arcilla.....	0,14	0,19	0,30	0,12	0,16	0,35	0,15	0,22	0,19

Se puede afirmar, que el aumento del hierro desde el perfil I al III está íntimamente relacionado a las cantidades de arcilla, también crecientes, y por ello las razones hierro/arcilla de cada perfil son análogas. No es tan simple explicar el aumento del porcentaje de hierro en profundidad, porque también crece la razón hierro/arcilla; en este caso hay que suponer, o una ligera queluviación o que el hierro se moviliza y migra en forma reducida en los períodos estacionales de deshielo.

El perfil IV presenta claramente manifestado un horizonte de acumulación C_{2r} . El origen de esta costra está en relación con las aguas profundas, ya que el suelo IV se sitúa en la faceta geomórfica que corta al manto freático (aparecen numerosas fuentes). En efecto, el hierro que se libera en el deshielo pasaría en parte a las aguas profundas y sería otra vez inmovilizado al surgir a la superficie.

Con los porcentajes de arcilla, hierro y materia orgánica, se pone de relieve la gran influencia que en el ranker pardo tiene la posición topográfica. A medida que se desciende en la ladera (fig. 1), las cantidades de agua recibidas por escorrentía van siendo mayores, con lo que se favorece la actividad biológica y la meteorización edafocímica; todo ello conduce a cantidades mayores de hierro, arcilla y materia orgánica. La saturación en bases y el pH, serían una prueba del aumento del lavado desde el suelo I al III, ya que el pH es cada vez más ácido y la saturación en bases más baja.

Capacidad y cationes de cambio

Las capacidades de cambio tienden a disminuir en profundidad, salvo en el caso del perfil IV. Las variaciones están plenamente justificadas con el porcentaje de arcilla y materia orgánica, como se demuestra al realizar las correlaciones entre capacidad de cambio y estos porcentajes (tabla III).

TABLA III

Correlaciones con la capacidad de cambio

x	N	r	P	Ecuación de regresión	Sy.x	Margen de confianza (95 %)
Materia orgánica.	11	0,88	>0,001	$y = 0,70 x + 6,17$	0,91	$\pm 2,04$
Arcilla.....	11	0,61	>0,05	$y = 0,33 x + 4,99$	1,51	$\pm 3,38$
Hierro libre.....	11	0,57	<0,05	$y = 0,46 x + 7,34$		

El coeficiente de correlación más alto es el de materia orgánica, la cual tiene una correlación altamente significativa; por el contrario, la correlación capacidad de cambio-hierro libre no es significativa, aunque los componentes de estas formas de hierro puedan tener una accesibilidad interna considerable.

En el complejo de cambio el catión predominante es el calcio, le siguen potasio y magnesio en cantidades parecidas, y el menos abundante es el sodio.

Saturación en bases

El porcentaje de saturación en bases oscila entre 33 y 58 por 100. Además de la tendencia, ya citada, a disminuir del perfil I al III, se observa una saturación sistemática mayor en los horizontes superficiales; ello podría deberse a los aportes externos y al reciclado biológico.

La relación del porcentaje de saturación en bases y el pH, viene dada por la ecuación de regresión $y = 36,42x - 143,45$, siendo $r = 0,85$ (nivel de significación $> 0,001$), $S_{y,x} = 4,9$ y los márgenes de confianza del 95 por 100 de $\pm 10,92$. Estos cálculos han sido realizados para poder estimar, en este tipo de suelos, el porcentaje de saturación en bases a partir del pH medido en el campo. Según la ecuación, al valor crítico del 50 por 100, que separa clases eútricas de dístricas (F. A. O., 1973), le corresponde un pH de 5,6; este resultado está de acuerdo con los de Blosser y Jenny (1972) y Ranney et al. (1974).

Clasificación de los suelos

Aunque a lo largo de la exposición del trabajo se ha utilizado la clasificación de Kubiena, con los datos disponibles se van a volver a clasificar los suelos por la «Soil Taxonomy» (Soil Survey Staff, 1975).

Los tres primeros perfiles pertenecen al subgrupo Cryumbrept Entico:

— La mezcla de los 18 cm superficiales (A y parte de AC) cumple los requerimientos de color, espesor, saturación en bases y materia orgánica del epipedón úmbrico.

— El régimen de temperatura del suelo es cryico.

— Carecen de un contacto lítico en los 50 cm superficiales y de un horizonte cámbico.

Dado que el perfil III tiene un horizonte C que manifiesta una meteorización considerable, este suelo estaría más cerca del subgrupo Típico que los suelos I y II.

El suelo IV sería un Cryortent Lítico:

— Tiene un epipedón ócrico.

— El régimen de temperatura del suelo es cryico.

— Tiene un contacto lítico en los 50 cm superficiales.

C O N C L U S I O N E S

Los suelos encontrados en la cuenca del Barranco Hondo se pueden clasificar en los subgrupos (Soil Survey Staff, 1975) Cryumbrept Entico (ranker pardo de Kubiena, 1952) y Cryortent Lítico (ranker gris).

Los factores formadores, que condicionan las diferencias de desarrollo entre los dos subgrupos, son el relieve y la edad. En efecto, los Cryortent Líticos son más jóvenes y se sitúan en pendientes donde la

edafización está muy frenada, y los Cryumbrept Enticos ocupan áreas de menor pendiente y tienen mayor edad.

En los Cryumbrept Enticos tiene una gran influencia la posición topográfica, al controlar la cantidad de agua recibida por el suelo, y por tanto, la meteorización y la actividad biológica.

El clima juega un papel importante en los suelos de la zona, ya que los fenómenos de helada y deshelada liberan hierro de los minerales del suelo, el cual tiende a acumularse en más cantidad en las partes bajas del perfil, y forma una costra en las superficies geomórficas que cortan al manto freático.

RESUMEN

Se han estudiado los suelos de un área perteneciente a la cuenca del río Dilar (Sierra Nevada). Los límites altitudinales son 2.000 y 2.500 metros y las rocas predominantes, micasquistos y cuarcitas.

Los suelos encontrados son: Cryumbrept Enticos en las superficies más antiguas—pendientes menores de 20°— y Cryorent Líticos en las modernas—pendientes mayores de 20°. En los perfiles del primer subgrupo se detectan diferencias en el desarrollo, condicionadas por la posición en el relieve.

*Estación Experimental del Zaidín
C. S. I. C., Granada*

BIBLIOGRAFÍA

- (1) BARAHONA FERNÁNDEZ, E. (1977). Regímenes de temperatura y humedad del suelo en Andalucía Oriental. Report Interno, Estación Experimental del Zaidín, Granada.
- (2) BLOSSER, D. L. y JENNY, H. (1972). Correlation of Soil pH and percent Base Saturation as influenced Soil Forming Factors. Soil Sci. Am. Proc., vol. 35, pág. 1017.
- (3) DELGADO, R. M., SIERRA RUIZ DE LA FUENTE, C. y GARCÍA CHICANO, J. L. (1972). Influencia del clima y suelo en el desarrollo del olivar en la provincia de Granada. *Ars Pharmaceutica*, tomo XIII, núms. 5, 6, 7, 8 (mayo-agosto), págs. 145-157, Granada.
- (4) ESPINOSA FERNÁNDEZ, P. (1976). Cartografía de la vegetación de Sierra Nevada (Memoria de Tesis doctoral, sin publicar). Universidad de Granada.
- (5) F. A. O. (1973). Supplement to World Soil Resources Report, 33: «Definitions of soils units soil map of the World». F. A. O.
- (6) FRANZ, H. (1956). Drei Klimabedingte Ranker-Subtypen Europas. *Rapports-Congr. Int. Science du Sol.*, vol. E, págs. 135-151.
- (7) HOLGREN GEORGE, G. S. (1967). A rapid Citrate-Ditionite extractable Iron procedure. *Soil Sci. Am. Proc.*, vol. 31, págs. 210-211.
- (8) HOYOS DE CASTRO, A. y MEDINA ORTEGA, A. M. (1951). Secuencia de suelos en Sierra Nevada, en relación con la altura sobre el nivel del mar. *Anal. Edaf. y Agrobiol.*, vol. 20, págs. 19-49.
- (9) KUBIENA, W. L. (1952). Claves sistemáticas de suelos. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid.
- (10) MESSERLI, B. (1965). Beiträge zur Geomorphologie der Sierra Nevada (Andalusien). *Juris-Verlag, Zürich*.
- (11) PÁRRAGA MARTÍNEZ, J. F. (1974). Estudio edáfico del Dehesa del Camarate (tesis de licenciatura, sin publicar). Universidad de Granada.
- (12) PRIETO, P. (1971). Vegetación de Sierra Nevada. La cuenca del Monachil. *Colectión Monográf. Univ., Granada*, vol. 11.

- (13) PRIETO, P. (1975). Flora de la tundra de Sierra Nevada. Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Granada.
- (14) PUGA, E. (1976). Investigaciones petrológicas en Sierra Nevada Occidental. Tesis doctorales de la Universidad de Granada, 133. Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Granada.
- (15) RANNEY, R. W., CIOLKOSZ, E. J., PETERSEN, G. W., MATELSKI, R. P., JHONSON, L. J. y CUNNINGHAM, R. L. (1974). The pH-Base Saturation relationship, in B and C horizons of Pennsylvania soils. Soil Sci., 118, pág. 247-254.
- (16) RAYA, J. (1959). Génesis de suelos de Sierra Nevada en relación con la altura, el drenaje y la vegetación. Vol. Univ. Granada.
- (17) SOIL SURVEY STAFF (1951). Soil Survey Manual. U. S. D. A., Handbook n.º 18, Washington.
- (18) SOIL SURVEY STAFF (1975). Soil Taxonomy. A basic system of soil classification for macking and interpreting soil surveys. U. S. D. A., Soil Conservation Service, Handbook n.º 436, Washington.

Recibido para publicación: 10-VII-78

SERVICIO DE DOCUMENTACION Y BIBLIOTECAS

THOM, E. R.

The effect of plant population and time of harvest on growth of hybrid and non-hybrid maize.

Ruakura Agricultural Centre. Hamilton.

61-111
N. Zelanda-111

LOS SUELOS DEL BARRANCO HONDO (SIERRA NEVADA)

II. ESTUDIO GEOQUIMICO

por

R. DELGADO CALVO-FLORES, F. HUERTAS y J. LINARES

SUMMARY

THE SOILS OF THE BARRANCO HONDO. II. GEOCHEMICAL STUDY

The reactions of chemical weathering have been identified and quantified in a small watershed of Sierra Nevada.

The A horizon shows mineralogical variations with respect to the parent rock, so, a 9% of albite is lost. In the other horizons the primary minerals are distributed among the different fractions: Quartz and albite in the coarse sizes, while fillosilicates are concentrated in the fine fractions.

The natural weathered, by year, 6042 Kgr of albite, 739 Kgr of muscovite, 3649 Kgr of hornblende, 12279 Kgr of dolomite and 8905 Kgr of calcite.

The mean age of the soils, calculated from the loss of albite, is 4429 ± 980 year.

INTRODUCCIÓN

Actualmente se están desarrollando, con un gran empuje, multitud de trabajos de tipo cuantitativo sobre la meteorización química. El objetivo de estas investigaciones es muy variado, pero en esencia responden a la necesidad de un conocimiento más preciso sobre la formación de los suelos.

En el presente trabajo, se completa el estudio de los suelos del Barranco Hondo (Delgado Calvo-Flores et al., 1978) con el cálculo de las variaciones minerales en el paso roca-suelo, el balance de meteorización anual de la cuenca y otros aspectos cuantitativos de la meteorización química.

El área estudiada se localiza en la Hoja 20-42 (Guejar Sierra) del Servicio Cartográfico del Ejército, y es la cuenca del arroyo que discurre por el Barranco Hondo; subsidiario del barranco del río Dilar, en la margen Sur.

La zona se encuentra enclavada, en un sentido geológico amplio, dentro de las cordilleras Béticas, aflorando en ella micasquistas, cuarcitas, anfibolitas y mármoles pertenecientes a los Mantos del Mulhacén y del Veleta, de las unidades Béticas (Puga, 1976).

La vegetación está compuesta por las asociaciones, Tomillares de Alta Montaña y Piornos Septentrionales (Espinosa Fernández, 1976).

El clima regional es semiárido, $DB'_2db'_4$ (Clasificación de Thornthwaite, Delgado et al., 1972). Por otra parte, el régimen de temperatura (Soil Survey Staff, 1975), al que pertenecen la mayoría de los suelos, es el cryico, aunque las áreas de menor cota están en el límite frígido-mésico (Delgado Calvo-Flores et al., Op. cit.).

Los suelos que se desarrollan en el área, pertenecen a los subgrupos Cryumbrept Entico y Cryortent Lítico (Soil Survey Staff, Op. cit.); las diferencias de desarrollo se deben a diferencias de pendiente y de edad (Delgado Calvo-Flores et al., Op. cit.).

MATERIAL Y MÉTODOS

Las muestras de suelo, que se han sometido a estudio, son las de los cuatro perfiles del trabajo anterior, ya mencionado. Asimismo, se han recolectado muestras de las aguas del arroyo Hondo y de algunas de las numerosas fuentes (surgencias) que vierten a él. El mapa de muestreo de suelos y aguas se adjunta como figura 1.

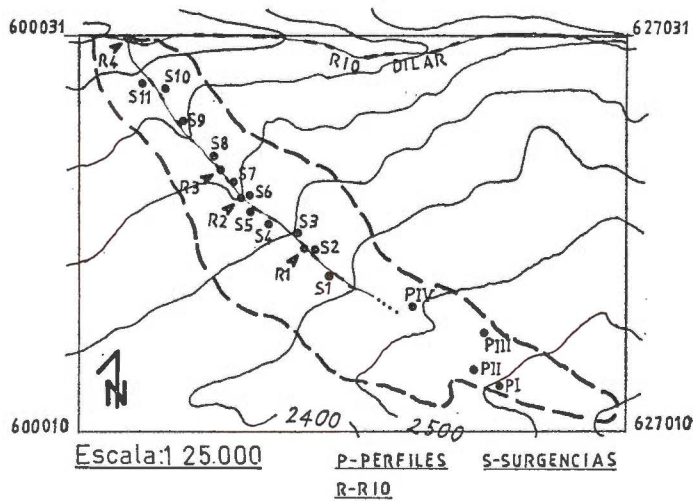


Fig. 1.—Mapa de situación de los perfiles, las surgencias y los puntos del río, muestreados.

Se han realizado estudios mineralógicos cualitativos y semicuantitativos por difracción de rayos X, sobre la tierra fina (fracción del suelo menor de 2 mm), la grava (mayor de 2 mm), la roca madre y la arcilla. En este último caso, el estudio se efectuó sobre agregado orientado, el cual se preparó por sedimentación y secado de una suspensión de arcilla en un portamuestras de vidrio.

Los agregados orientados de arcilla se solvataron con etilenglicol y dimetilsulfóxido, para asegurar la presencia de interestratificados.

ilita-montmorillonita, montmorillonita y caolinita. Asimismo, sobre los agregados orientados con etilenglicol, se determinó el porcentaje de capas de montmorillonita de los interestratificados ilita-montmorillonita; ello se realiza con las reflexiones (001) (Brown, 1961). Otra precisión de tipo cualitativo fue la medida del porcentaje de anortita de las plagioclasas, en los diagramas de polvo cristalino, utilizando las reflexiones (131) y ($\bar{1}\bar{3}1$) (Bambauer et al., 1967).

Los factores reflectantes, aplicados en el análisis mineralógico semicuantitativo del polvo cristalino, fueron los siguientes: 0,5 para la reflexión 4,24 Å del cuarzo, 1 para la 3,18 Å de plagioclasas, 2 para la 7 Å de clorita, 0,1 para la 4,45 Å de laminares, 1 para la 4,46 Å de cloritoide, 1 para 2,69 Å de hematites y 1 para la 4,17 Å de goetita.

En los agregados orientados, solvatados con etilenglicol, se emplearon los siguientes factores reflectantes: 1 para la reflexión 10 Å de ilita, 2 para la 7 Å de clorita y caolinita, 3 para la 9,6 Å de paragonita, 4 para la 17 Å de montmorillonita y 2 para la reflexión de espaciado entre 10 y 14 Å, de interestratificados ilita-montmorillonita. El porcentaje correspondiente a la reflexión de 7 Å, posteriormente se reparte entre clorita y caolinita, con ayuda del agregado orientado con dimitilsulfóxido.

El análisis químico de la tierra fina y la roca, se efectuó preparando una disgregación ácida y otra básica (Huertas y Linares, 1977). Sobre la ácida se determinaron los siguientes elementos:

Hierro.—Colorimetría del complejo naranja con ortofenantrolina.

Titanio.—Colorimetría del complejo amarillo con H_2O_2 .

Calcio y magnesio.—Complexometría con E. D. T. A. y Cl_2Zn .

Sodio y potasio.—Fotometría de llama.

En la solución básica se investigaron:

Aluminio.—Colorimetría del complejo rojo-S de alizarín, de aluminio y calcio.

Silice.—Colorimetría del complejo silicomolibdico reducido, de color azul.

Otras determinaciones realizadas en la tierra fina y la roca, fueron el agua de saturación y el análisis del extracto de saturación (Soil Survey Staff, 1967). En este último se investigaron, la conductividad, el pH y los contenidos en sílice, sodio, potasio, calcio y magnesio. Es importante señalar que las muestras de roca estaban molidas en mortero mecánico.

Las determinaciones sobre tierra fina y roca, se completaron con un estudio de hidrólisis a temperatura ambiente, cuya realización práctica es como sigue: A una mezcla de 20 gr de muestra molida en mortero mecánico y 2 litros de agua desionizada, se les somete a 5 horas de agitación mecánica, 8 horas de agitación manual y 10 horas de reposo. Previo agitado, se extraen 200 ml, los cuales se centrifugan para guardar el líquido limpio y devolver al recipiente el sólido junto con 200 ml de agua desionizada. El proceso se repitió 7 veces, puesto que

las reacciones de hidrólisis son bastante rápidas. A las soluciones almacenadas se les determinó pH, sodio, potasio, calcio, magnesio y sílice.

En las aguas naturales muestreadas, se investigaron los mismos parámetros que en las aguas procedentes de la hidrólisis artificial, además de bicarbonatos (volumetría con sulfúrico e indicador rojo de metilo).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con el estudio de los diagramas de polvo cristalino, se han detectado en todas las muestras cuarzo, albita, hematites, mica, paragonita, clorita, interestratificados ilita-montmorillonita, y en el suelo y roca IV, goetita y cloritoide. Los interestratificados existen en las rocas como consecuencia de la sericitización de la mica.

Los análisis mineralógicos semicuantitativos, realizados sobre los diagramas de polvo cristalino, se expresan en las tablas I y II; para mayor simplicidad se han sumado los porcentajes de filosilicatos. A partir de estas relaciones de valores se puede afirmar lo siguiente:

Los análisis mineralógicos de las fracciones de suelo, son muy parecidos a los de la roca madre, lo que indica una escasa evolución del material edafizado.

Se comprueba, mineralógicamente, que el horizonte C_{2r} del perfil IV es un nivel de acumulación de hierro, porque presenta cantidades considerables de goetita (Delgado Calvo-Flores et al., 1978).

Los minerales detectados en el estudio de los agregados orientados de arcilla son: Montmorillonita, interestratificados ilita-montmorillonita (70/30 a 90/10), ilita, paragonita, clorita, caolinita, gibsitita y lepidocrocita. Los resultados del análisis mineralógico semicuantitativo se expresan en la tabla III, donde se excluyen gibsitita y lepidocrocita por sus pequeñas cantidades; baste saber que gibsitita sigue aproximadamente las tendencias de caolinita.

El estudio de las tendencias relativas al paso roca-suelo, al reparto de los minerales entre las diversas fracciones y a las variaciones mineralógicas en el perfil, se reserva para el capítulo geoquímico.

En la tabla IV, se adjuntan los resultados del extracto y agua de saturación. Si se consideran como índices de la intensidad del lavado, el pH del extracto y las cantidades de iones cedidos por 100 gr de muestra, se puede afirmar que los suelos están más lavados que las rocas, y que el lavado crece desde el perfil I al III; la última conclusión fue obtenida anteriormente, a partir de la saturación en bases, el porcentaje de arcilla, etc. (Delgado Calvo-Flores et al., Op. cit.).

Las experiencias de hidrólisis se realizaron únicamente sobre la roca y la tierra fina I. Los resultados se han representado frente a horas de agitación y constituyen la figura 2. El hecho más importante que se pone de manifiesto a partir de esta figura, es que el equilibrio sólido-líquido se alcanza para la sílice a las 96 horas y para el resto de los cationes a las 24 horas.

El análisis químico de la tierra fina y la roca se incluye en la tabla V,

TABLA I

Análisis mineralógico semicuantitativo de tierra fina

Perfil	Hor.	Cuarzo	Albita	Filosilicatos	Hematites	Cloritoide	Goetita
I	A	28	22	50	< 5	—	—
I	AC	21	32	47	—	—	—
I	C	13	32	54	—	—	—
II	A	16	10	74	—	—	—
II	AC	28	16	56	—	—	—
II	C	29	28	43	T	—	—
III	A	33	8	60	T	—	—
III	AC	28	7	64	—	—	—
III	C	16	9	74	—	—	—
IV	A	41	5	54	T	T	—
IV	C1	31	5	65	T	T	—
IV	C2 _{ir}	10	5	86	T	T	T

Los porcentajes menores de 5, no se han contabilizado en la suma a 100. La letra T, indica mineral en cantidades detectables, pero no cuantizables.

TABLA II

Análisis mineralógico semicuantitativo de grava y roca

Perfil	Hor.	Cuarzo	Albita	Filosilicatos	Hematites	Cloritoide	Goetita
I	A	43	7	50	T	—	—
I	AC	29	43	28	—	—	—
I	C	24	46	30	T	—	—
II	A	39	9	52	T	—	—
II	AC	40	13	47	T	—	—
II	C	40	11	49	T	—	—
III	A	29	8	63	—	—	—
III	AC	27	12	61	—	—	—
III	C	22	13	65	T	—	—
IV	A	36	5	59	T	< 5	—
IV	C1	29	5	66	T	< 5	—
IV	C2 _{ir}	32	< 5	48	T	T	20
I	R	18	41	41	T	—	—
II	R	33	13	53	—	—	—
III	R	40	7	53	—	—	—
IV	R	24	7	69	—	< 5	—

Los porcentajes menores de 5, no se han contabilizado en la suma a 100. La letra T, indica mineral en cantidades detectables, pero no cuantizables.

TABLA III

Análisis mineralógico semicuantitativo de la arcilla

Perfil	Hor.	Montmorillonita	Interestr. Ilita-Mont.	Ilita	Paragonita	Clorita	Caolinita
I	A	< 5	30	50	< 5	9	11
I	AC	< 5	26	31	5	21	17
I	C	< 5	18	39	< 5	23	19
II	A	< 5	40	35	< 5	12	13
II	AC	< 5	30	31	< 5	15	20
II	C	< 5	15	37	< 5	26	24
III	A	< 5	29	33	< 5	16	18
III	AC	< 5	28	40	< 5	15	17
III	C	< 5	10	35	5	27	33
IV	A	5	42	32	< 5	11	16
IV	C1	< 5	28	44	< 5	12	14

Los porcentajes menores de 5, no se han contabilizado en la suma a 100.

TABLA IV

Agua de saturación y análisis del extracto de saturación

	Agua de saturación %	pH	Conduc-	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SiO ₂
			tividad milimhos/cm					
Tierra fina I	34,86	7,3	0,175	0,025	0,005	0,043	0,013	0,0073
Roca I	22,89	8,2	0,770	0,170	0,025	0,030	0,016	0,0048
Tierra fina II	34,08	7,1	0,126	0,016	0,004	0,040	0,006	0,0043
Roca II	29,81	7,9	0,368	0,093	0,012	0,023	0,007	0,0078
Tierra fina III	38,50	7,1	0,119	0,012	0,001	0,026	0,005	0,0034
Roca III	34,38	7,4	0,245	0,080	0,015	0,000	0,002	0,0129
Tierra fina IV	29,29	7,4	0,147	0,019	0,005	0,026	0,006	0,0034
Roca IV	35,28	7,9	0,298	0,107	0,012	0,008	0,007	0,0050

La muestra de tierra fina, utilizada como representante del perfil, es una mezcla de la de los distintos horizontes, teniendo en cuenta el espesor y el porcentaje en gravas de cada uno.

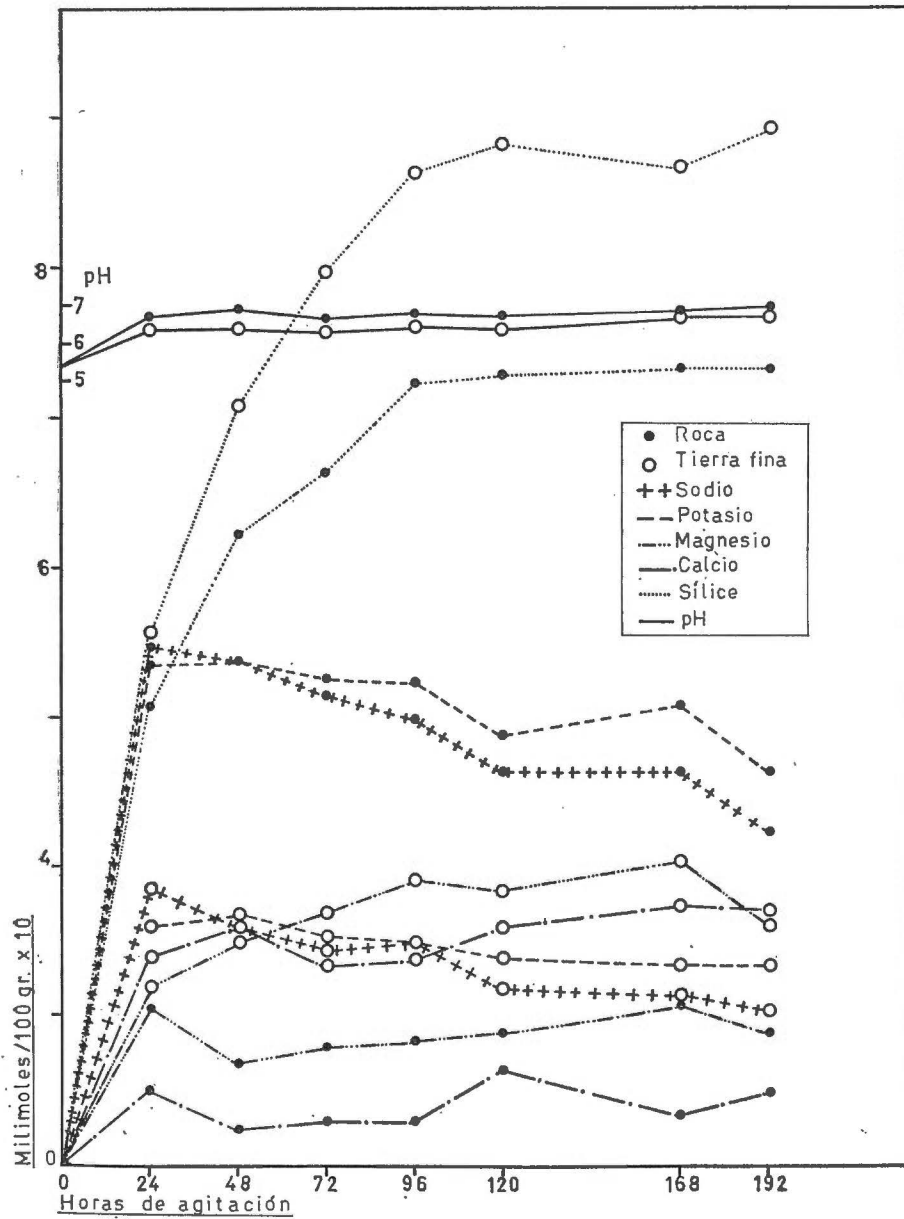


Fig. 2.—Experiencias de hidrólisis artificial. El pH de partida es 5,4, por ser éste el del agua destilada.

TABLA V

Análisis químico de tierra fina y roca

	Perfil I				Perfil II				Perfil III				Perfil IV			
	A	AC	C	R	A	AC	C	R	A	AC	C	R	A	C1	C2 _{ir}	R
SiO ₂	65,47	62,86	60,62	63,81	65,47	64,64	67,40	66,60	64,24	62,40	57,31	66,82	66,58	64,37	46,40	63,46
Al ₂ O ₃	16,95	18,31	19,99	19,31	16,92	17,32	16,80	17,33	17,52	18,06	20,87	17,88	17,39	20,51	20,62	18,06
Fe ₂ O ₃	5,20	5,11	5,79	5,55	5,11	5,45	5,13	5,42	5,67	6,84	8,33	5,67	4,69	4,52	18,62	7,44
TiO ₂	0,67	0,47	0,61	0,68	0,99	0,93	0,84	0,91	0,98	1,02	1,02	0,89	0,91	1,03	0,76	0,87
CaO	1,17	0,76	0,56	0,57	1,60	1,09	0,95	0,48	0,98	0,62	0,49	0,49	0,90	0,46	0,41	0,43
MgO	2,81	2,81	2,69	2,02	2,35	2,49	1,76	1,56	1,87	2,03	1,99	1,57	1,04	1,06	0,67	1,59
Na ₂ O	2,50	3,53	3,86	3,96	2,16	2,22	2,78	1,69	1,41	1,55	1,53	1,38	1,22	1,00	0,91	1,46
K ₂ O	1,99	1,59	1,58	2,43	1,93	1,83	1,68	2,56	2,41	2,50	2,55	2,25	2,56	2,85	2,21	2,96
H ₂ O+	4,79	4,63	4,58	2,66	4,28	4,97	3,73	3,65	6,23	5,68	6,65	3,67	4,89	4,98	8,93	4,44
Suma	101,04	100,08	100,30	101,00	100,81	100,96	101,05	100,20	101,30	100,79	100,73	100,61	100,18	100,79	99,54	100,71

volviéndose a poner de manifiesto, en líneas generales, la pequeña evolución que presentan los horizontes de suelo; los análisis de tierra fina son muy parecidos a los de roca. Se observa también, que el horizonte C_{2ir} del perfil IV, tiene unos porcentajes de Fe₂O₃ y H₂O⁺ muy elevados, lo que se debería a su carácter de horizonte acumulación de oxihidróxidos de hierro (goetita).

Los resultados del análisis químico de las aguas naturales muestreadas (fig. 1), se adjuntan en la tabla VI. Considerando el río como un representante de las aguas del Barranco, se observa que al disminuir la cota hay un incremento en la concentración de electrolitos. Esto parece un hecho lógico, ya que en las partes altas habrá más precipitación, y en las bajas una temperatura más suave y mayor vegetación.

TABLA VI

Análisis químico de aguas naturales

Muestra	pH	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SiO ₂	CO ₃ H ⁻
		mmoles/litro					
S1	6,4	0,017	0,0026	0,020	0,003	0,071	n. d.
S2	7,2	0,039	0,0051	0,560	0,136	0,097	n. d.
S3	6,7	0,026	0,0018	0,240	0,090	0,086	n. d.
S4	6,8	0,030	0,0026	0,290	0,091	0,090	n. d.
S5	6,9	0,030	0,0015	0,240	0,078	0,093	n. d.
S6	7,1	0,035	0,0026	0,250	0,094	0,108	n. d.
S7	7,0	0,052	0,0026	0,260	0,086	0,163	n. d.
S8	6,9	0,035	0,0018	0,090	0,025	0,115	n. d.
S9	6,9	0,035	0,0018	0,210	0,792	0,103	n. d.
S10	6,8	0,052	0,0026	0,140	0,039	0,170	n. d.
S11	6,5	0,035	0,0033	0,157	0,051	0,115	n. d.
R1	6,7	0,026	0,0026	0,185	0,084	0,080	n. d.
R2	7,1	0,030	0,0035	0,270	0,109	0,090	n. d.
R3	7,0	0,041	0,0049	0,305	0,102	0,099	2,37
R4	7,2	0,054	0,0056	0,645	0,202	0,125	n. d.

ESTUDIO GEOQUÍMICO

1. *Balace isooxígeno* (Barth, 1948)

Se ha aplicado para calcular las variaciones absolutas de materia, de la roca a la tierra fina, como datos necesarios para los balances mineralógicos. Consiste en ajustar los análisis químicos a 160 oxígenos, elemento en exceso, y sustraer el del horizonte del de la roca. Los resultados para 100 gr de roca se expresan en la tabla VII. Es importante

TABLA VII
Balace isooxígeno

	Perfil I			Perfil II			Perfil III			Perfil IV		
	A	AC	C	A	AC	C	A	AC	C	A	C1	C2 _{ir}
SiO ₂	-0,12	-1,77	-3,71	-1,58	-2,83	0,17	-3,86	-4,64	-9,55	2,17	-0,29	-16,00
Al ₂ O ₃	-2,80	-1,24	0,49	-0,52	-0,24	-0,68	-0,72	0,09	2,49	-0,91	2,06	3,17
Fe ₂ O ₃	-0,48	-0,49	0,18	-0,35	-0,05	0,33	-0,12	1,12	2,62	-2,80	-2,98	11,58
TiO ₂	-0,03	-0,22	-0,08	0,07	0,00	-0,08	0,08	0,13	0,13	0,03	0,14	-0,10
CaO.....	0,56	0,19	-0,01	1,12	0,60	0,47	0,46	0,12	0,00	0,44	0,02	-0,38
MgO.....	0,23	0,75	0,64	0,77	0,89	0,18	0,26	0,44	0,41	-0,56	-0,55	-0,96
Na ₂ O.....	-1,51	-0,47	-0,13	0,46	0,50	1,07	0,00	0,17	0,15	-0,26	-0,47	-0,48
K ₂ O.....	-0,49	-0,85	-0,85	-0,65	-0,76	0,90	0,10	0,23	0,29	-0,43	-0,17	-0,67
H ₂ O+.....	1,99	1,89	1,86	0,60	1,25	0,05	2,42	1,97	2,95	0,38	0,44	4,73
Variac. total .	-2,56	-2,21	-1,61	-0,08	-0,64	-0,05	-1,38	-0,37	-0,51	-1,94	-1,80	0,86

Las variaciones positivas son aportes y las negativas pérdidas absolutas o relativas, como consecuencia del método de cálculo.

señalar, que el único horizonte que tiene una variación global positiva es el C_{2r}, presentando un aporte considerable de Fe₂O₃. Por otra parte, los balances de SiO₂, Al₂O₃ y H₂O⁺, de todos los horizontes, quedarán explicados con el reparto mineralógico, entre tierra fina y grava, de cuarzo, albita y filosilicatos.

2. Balances mineralógicos

Han versado sobre la grava y la tierra fina (excepto el C_{2r} del perfil IV por su carácter alóctono), en orden a establecer las variaciones en el paso roca-suelo. El método de cálculo consiste en una sustracción de los análisis mineralógicos de la tierra fina o la grava, con el de la roca; en el caso de la fracción menor de 2 mm, como paso previo, se le sustrajo al análisis mineralógico la variación calculada químicamente. Los resultados medios se han representado frente a A, AC y C, y constituyen la figura 3. Se puede afirmar, en líneas generales, que los minerales se reparten de forma selectiva entre las fracciones de suelo: en gravas, cuarzo y plagioclasa y en tierra fina, filosilicatos.

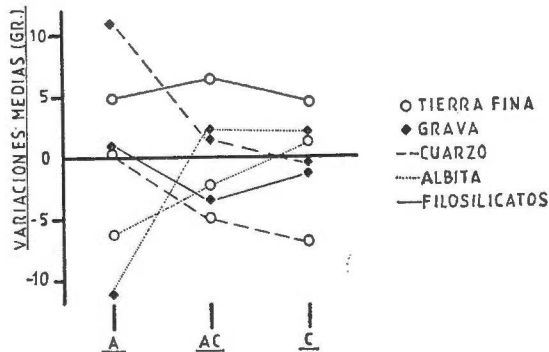


Fig. 3.—Variaciones mineralógicas, con respecto a la roca, de la grava y la tierra fina.

De acuerdo con la existencia, demostrada, de los repartos mineralógicos entre las fracciones, para conocer la realidad del cambio roca-suelo, ha sido necesario calcular las variaciones globales, es decir, las variaciones medias teniendo en cuenta el porcentaje de grava y tierra fina (A-50 por 100, AC-55 por 100 y -70 por 100 en grava). La representación gráfica de estos datos (fig. 4), lleva a la conclusión de que el único horizonte con variaciones importantes es el A, presentando una pérdida de plagioclasa y un aumento relativo de cuarzo y filosilicatos; para cálculos posteriores, se considerará que la pérdida de albita es de 9 ± 2 por 100, donde el 2 por 100 es la magnitud de las variaciones despreciadas.

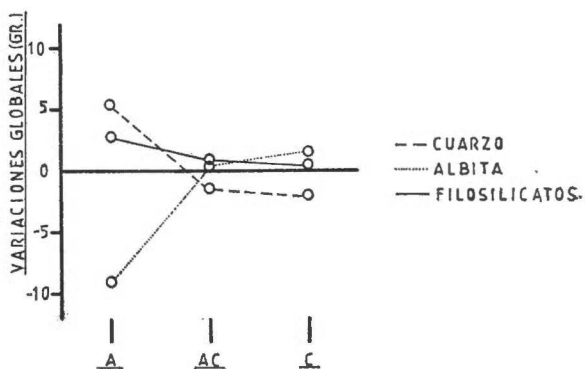


Fig. 4.—Variaciones mineralógicas globales suelo-roca.

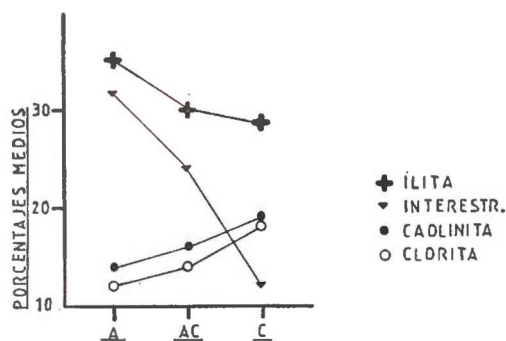


Fig. 5.—Distribución de los minerales de la arcilla en el perfil.

3. *Minerales de la arcilla*

Este grupo ha sido investigado para perfeccionar el estudio de las variaciones mineralógicas en el perfil. Con este fin, se han referido los porcentajes de la tabla III a tierra fina, y se han representado los valores medios frente a A, AC y C (fig. 5); se excluyen paragonita y montmorillonita por sus pequeñas cantidades. A partir de esta gráfica se pueden obtener las siguientes conclusiones:

La ilita y los interestratificados ilita-montmorillonita, se forman en las partes someras del perfil y probablemente sean productos de transformación de la mica.

La clorita se destruye preferentemente en las zonas altas.

La caolinita y la gibsita, que proceden de la destrucción de la albita, se acumulan en profundidad debido al lavado.

4. *Equilibrios de fases*

Esta parte del estudio geoquímico, tiene como objetivo ver qué fases están en equilibrio con la solución del suelo, cuando éste tiene varios estados de humedad; es otra forma de enfocar la investigación de las reacciones de meteorización y los cambios mineralógicos.

En los diagramas

$$\log \frac{[\text{Na}^+]}{[\text{H}^+]} - \log [\text{SiO}_2] \text{ y } \log \frac{[\text{K}^+]}{[\text{H}^+]} - \log [\text{SiO}_2]$$

(Cleaves et al., 1968), se han introducido los datos correspondientes al extracto de saturación, las aguas naturales y las experiencias de hidrólisis (concentraciones expresadas en mmoles/litro), considerando que el extracto de saturación representa la época en que el suelo tiene una humedad media y las aguas naturales y las experiencias de hidrólisis la de gran humedad (figs. 6 y 7).

La albita se destruye y se neoforma caolinita, cuando el sistema tiene suficiente cantidad de agua. Si el medio se confina, la concentración de sílice y bases aumenta, y se puede formar montmorillonita e incluso ser estable la albita. Todo esto está de acuerdo con la serie de disoluciones incongruentes deducida por Helgeson et al. (1969): Albita \rightarrow gibsitita \rightarrow \rightarrow caolinita \rightarrow montmorillonita \rightarrow albita.

La mica potásica, en un medio con mucha agua, producirá caolinita y en un medio más restringido no se hidrolizará. Ello parece indicar que la mica, en estos sistemas, es menos soluble que la albita, y los procesos más importantes que sufre son los de transformación.

5. *Balance de meteorización anual*

Está constituido por las cantidades de minerales meteorizados anualmente en la cuenca (Cleaves et al., Op. cit.). Los iones del agua media, se adscriben a las reacciones de meteorización detectadas y de esta forma se obtienen los milimoles de minerales meteorizados por litro. El balance se halla finalmente con estos datos, al área de la zona y la precipitación media útil.

El cálculo de los milimoles de minerales meteorizados por litro de agua se realiza en la tabla VIII; el resto de CO_3H^- se explica por la disolución de CO_2 del suelo. Se han incluido, en estos cálculos, las reacciones 3, 4 y 5, porque existen en el área abundantes afloramientos de anfíbolitas y mármoles calizodolomíticos y hay un hecho que demuestra que estas rocas sufren una meteorización importante: Las asociaciones vegetales son calcícolas y magnésícolas (Prieto, comunicación personal, 1977). En base a este carácter botánico, hay que admitir que el suelo recibe cantidades importantes de calcio y magnesio, lo que está de acuerdo con los datos obtenidos en las experiencias de hidrólisis (fig. 2), el extracto de saturación (tabla IV) y el balance isooxígeno (tabla VII).

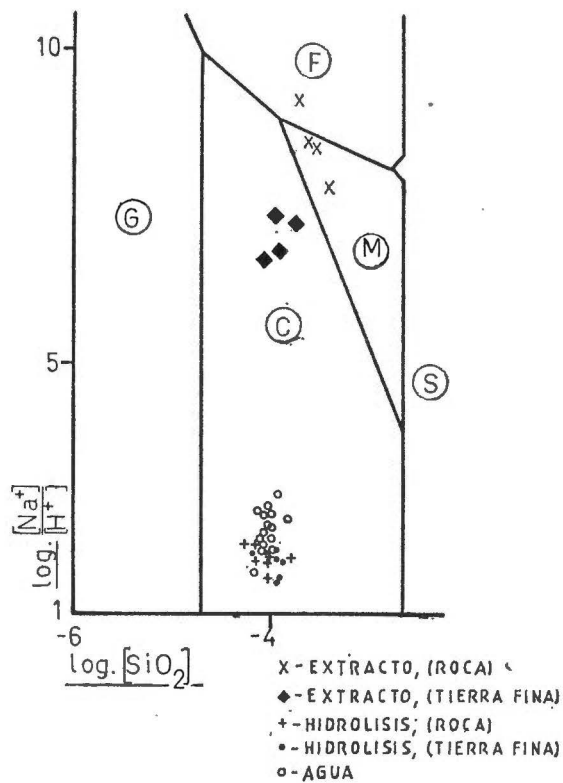


Fig. 6.—Diagrama $\log \frac{[Na^+]}{[H^+]} - \log [SiO_2]$, a 25° C
 (Cleaves et al., 1968).

F: Feldespato sódico, M: Montmorillonita, S: sílice amorfa, C: Caolinita y G: Gibsita.

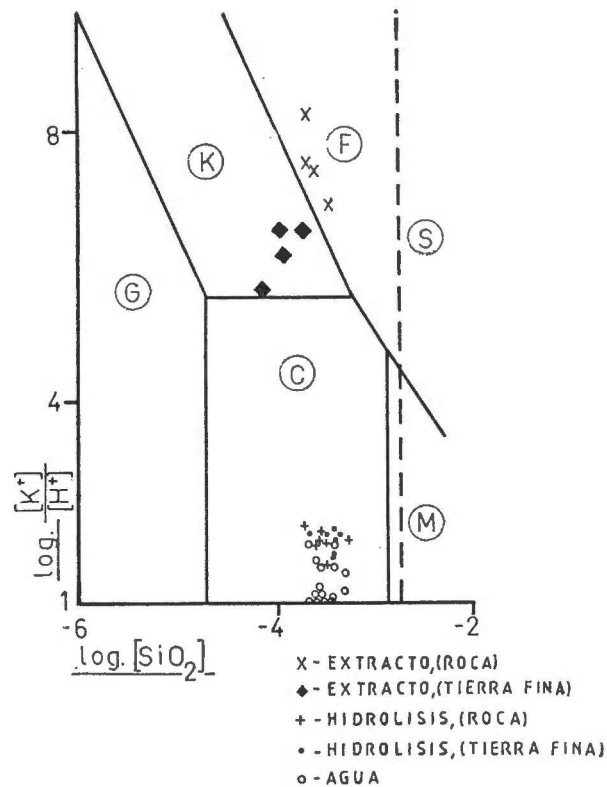


Fig. 7.—Diagrama $\log \frac{[K^+]}{[H^+]} - \log [SiO_2]$, a 25° C
 y 1 at. (Cleaves et al., 1968).

F: Feldespato potásico, S: sílice amorfa, M: Montmorillonita, C: Caolinita, G: Gibsita y K: Miça potásica,

En el cálculo del balance de meteorización anual, se ha utilizado un área aproximada de 1,6 Km² y una precipitación media útil de 400 mm. (I. G. M. E., 1972). Así, se obtienen las siguientes cantidades de minerales destruidos: Albita —6042 Kgr—, moscovita —739 Kgr—, hornblenda —3649 Kgr—, dolomita —12279 Kgr— y calcita —8905 Kgr—.

TABLA VIII

Cálculo de los mmoles de minerales primarios meteorizados por litro de agua

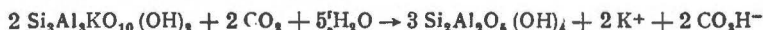
	SiO ₂	Na ⁺	K ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	CO ₃ H ⁻	Mineral meteorizado
	mmoles/litro						
Agua media	0,107	0,036	0,0029	0,257	0,132	2,3700	
Mmoles consumidos en la reacción 1: Ab → C ..	0,072	0,036	—	—	—	0,0360	6,0360
Mmoles consumidos en la reacción 2: Mo → C ..	—	—	0,0029	—	—	0,0029	0,0029
Mmoles consumidos en la reacción 3: Ho → C ..	0,035	—	—	0,014	0,028	0,0023	0,0070
Mmoles consumidos en la reacción 4: Do → S ..	—	—	—	0,104	0,104	0,4160	0,1040
Mmoles consumidos en la reacción 5: Ca → S ..	—	—	—	0,139	—	0,2780	0,1390
Total consumido	0,107	0,036	0,0029	0,257	0,132	0,7352	
Resto	—	—	—	—	—	1,6348	

Las reacciones de meteorización, a las que se adscriben los mmoles del agua media, son:

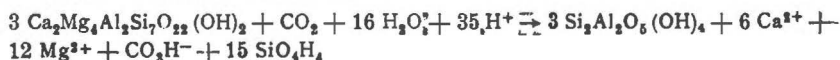
Reacción 1.—Albita → Caolinita.



Reacción 2.—Moscovita → Caolinita.



Reacción 3.—Hornblenda → Caolinita.



Reacción 4.—Dolomita → Solución.



Reacción 5.—Calcita → Solución.



6. *Velocidad de caolinización*

Es un valor que permite comprobar la fiabilidad del balance de meteorización anual, porque se calcula con las cantidades de minerales del suelo caolinitizados (no se tiene en cuenta hornblenda). Considerando una densidad para la tierra fina de 1,5 gr/cc, la velocidad de caolinización se obtiene con la fórmula:

$$\frac{0,66 \times \text{peso de minerales caolinitizados (Kgr/año)}}{\text{área de la cuenca (m}^2\text{)}} = 2,8 \times 10^{-3} \text{ m/1000 años.}$$

La velocidad obtenida, 0,28 cm/1000 años, parece ser muy adecuada al tipo de clima y suelo, ya que Tardy (1969) suministra un valor para el macizo central francés de 1 cm/1000 años.

7. *Edad del suelo medio*

Se puede calcular de forma aproximada con la relación, pérdida total de albita/pérdida anual de albita. El denominador es conocido por el balance de meteorización, y la pérdida total se obtiene con la fórmula:

$$P = S \times e \times D \times p \times 0,01.$$

S = superficie del área.

e = espesor medio del horizonte A.

D = densidad media del suelo, calculada a partir de una densidad de tierra fina de 1,5 gr/cc y una de grava de 2 gr/cc; estos valores son muy verosímiles dado el escaso desarrollo del suelo.

p = pérdida deducida en el balance mineralógico.

La edad obtenida resulta ser de 4424 ± 983 años, lo cual parece una cifra muy aceptable, todavía más si se piensa en la complejidad del cálculo.

CONCLUSIONES

Con referencia al tránsito roca-suelo en los perfiles estudiados, se pueden enunciar las siguientes conclusiones:

El material edafizado presenta una escasa evolución.

Los minerales se reparten de forma selectiva entre las fracciones: cuarzo y albita en los tamaños gruesos y filosilicatos en los finos.

Las variaciones mineralógicas más importantes se producen en el horizonte A. En efecto, la clorita se destruye, la moscovita se transforma en illita e interestratificados illita-montmorillonita o se disuelve incongruentemente neoformando caolinita, y la albita se hidroliza neoforman-

do gibsita y caolinita o montmorillonita; la pérdida de plagioclasa se ha cuantizado y supone el 9 ± 2 por 100.

A nivel de cuenca se han obtenido los siguientes datos cuantitativos:

Anualmente se meteorizan 6042 Kgr de albita, 739 Kgr de moscovita, 3649 Kgr de hornblenda, 12274 Kgr de dolomita y 8905 Kgr de calcita.

En el conjunto de los suelos estudiados, la velocidad de caolinización es de 0,28 cm/1000 años y la edad aproximada de 4424 ± 983 años.

RESUMEN

Se han cuantificado las reacciones de meteorización en un pequeño barranco de Sierra Nevada.

El único horizonte de suelo que manifiesta variaciones mineralógicas importantes, con respecto a la roca, es el A, con una pérdida total de albita del 9 por 100; en el resto del perfil hay un reparto de los minerales entre las diversas fracciones: cuarzo y albita en los tamaños gruesos y filosilicatos en los finos.

Las aguas naturales de la cuenca meteorizan anualmente 6042 Kgr de albita, 739 Kgr de moscovita, 3649 Kgr de hornblenda, 12274 Kgr de dolomita y 8905 Kgr de calcita.

La edad media de los suelos investigados, de acuerdo con la pérdida anual de albita, es de 4424 ± 980 años.

Estación Experimental del Zaidín (C. S. I. C.). Granada.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) BAMBAUER, H. U., CORLETT, M., EBERHARD, E. y VISWANATHAN, K. (1967). Diagrams for the Determination of Plagioclases using X-Ray Powder Methods (Part III). *Scheveirische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen*, Band 47.
- (2) BARTH, T. W. (1948). Oxygen in rocks: A basis for petrographic calculations. *Jour. Geol.*, 56, 50-61.
- (3) BROWN, G. (1961). The X-Ray Identification and Crystal structures of Clay minerals. Mineralogical Society, London.
- (4) CLEAVES, E. T., GODFREY, A. E. y RICKER, O. P. (1968). Minerals-Water Interaction during the Chemical Weathering of Silicates. *Advanc. in Chem. Series*, núm. 73.
- (5) DELGADO, R. M., SIERRA RUIZ DE LA FUENTE, C. y GARCÍA CHICANO, J. L. (1972). Influencia del clima y suelo en el desarrollo del olivar en la provincia de Granada. *Ars Pharmaceutica*. Tomo XIII, núms. 5-6-7-8 (mayo-agosto), 145-157, Granada.
- (6) DELGADO CALVO-FLORES, R., BARAHONA FERNÁNDEZ, E. y LINARES, J. (1979). Los suelos del Barranco Hondo (Sierra Nevada). I. Tipologías y factores formadores. *Anal. Edaf. y Agrobiol.*, XXXVIII, núm. 9-10, 1543-1572.
- (7) ESPINOSA FERNÁNDEZ, P. (1976). Cartografía de la vegetación de Sierra Nevada (Memoria de tesis doctoral, sin publicar). Universidad de Granada.
- (8) HELGESON, H. C., GARRELS, R. M. y MACKENZIE, F. T. (1969). Evaluation of irreversible reactions in Geochemical processes involving minerals and aqueous solutions (II, Applications). *Geochem. and Cosmochim. Acta*, Vol. 33, 445-481.
- (9) HUERTAS, F. y LINARES, J. (1977). El análisis químico de silicatos. Report Interno, Estación Experimental del Zaidín, Granada.
- (10) INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA (1972). Mapa Hidrogeológico Na-

- cional. Departamento de Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España, Madrid.
- (11) PRIETO, P. (1977). Comunicación personal.
 - (12) PUGA, E. (1976). Investigaciones petrológicas en Sierra Nevada Occidental. Tesis doctorales de la Universidad de Granada 133, Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Granada.
 - (13) SOIL SURVEY STAFF (1967). Soil Survey Laboratory Methods and Procedures for collecting samples. Soil Survey Investigation, Report núm. 1, Washington.
 - (14) SOIL SURVEY STAFF (1975). Soil Taxonomy. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. U. S. D. A., Soil Conservation Service. Handbook núm. 436. Washington.
 - (15) TARDY, Y. (1969). Géochimie des altérations, étude des arènes et des eaux de quelques massifs cristallins D'Europe et D'Afrique. Mem. Serv. Cart. Geol. Als. Lorr., 31; Strasbourg.

Recibido para publicación: 10-VII-78

DISOLUCION DIFERENCIAL DE Si, Al Y Fe

I. SECUENCIA CLIMATICA: ANDOSOLES, SUELOS PARDOS

por

O. CABEZAS VIANO, E. FERNANDEZ CALDAS, M. L. TEJEDOR SALGUERO
y J. M. HERNANDEZ MORENO

SUMMARY

SELECTIVE DISSOLUTION OF Si, Al AND Fe. I. CLIMATIC SEQUENCE: ANDOSOLS AND BROWN SOILS

Si, Al and Fe dissolution by acid-base technique of Segalen is studied in a climatic sequence of volcanic soils of Tenerife Island (Andosols and Brown Soils). X-ray analysis before and after the treatment reveals that amorphous forms are not differentiated from very soluble crystalline ones (gibbsite, imogolite). Halloysite shows two types of solubility depending it occurs in the hydrated form or metahalloysite. Fe dissolution kinetics is quite uniform in all soils of the sequence.

INTRODUCCIÓN

Algunos autores (Colmet-Daage et al., 1973; Quantin, Lamouroux, 1974) han sugerido que el método de disolución ácido-base (Segalen, 1968), especialmente con las curvas de velocidad, puede contribuir a un mejor conocimiento de los constituyentes minerales del suelo, sobre todo en lo que respecta a su cristalinidad. Por lo que la utilización de esta técnica puede permitir seguir la evolución de estos constituyentes a lo largo de la edafogénesis.

De acuerdo con estas indicaciones nos proponemos aplicar dicho método a secuencias climáticas recientes y antiguas, constituidas por Andosoles, suelos pardos y suelos ferralíticos, fersialíticos y vertisoles respectivamente de la Isla de Tenerife.

Estos suelos se han formado sobre materiales volcánicos predominantemente basálticos de proyecciones recientes y antiguas, formándose sobre estos materiales las climatosecuencias anteriores según su orden cronológico.

En el presente trabajo estudiamos los suelos correspondientes a la climatosecuencia reciente; andosol, suelos pardos, cuyas características físico-químicas, mineralógicas y macro-micromorfológicas han sido consideradas en trabajos anteriores (Tejedor y col., 1978; Fernández Caldas y col., 1978).

MATERIAL Y MÉTODOS

La secuencia climática estudiada comprende: dos andosoles desaturados, no perhidratados, crómicos (Typic Dystrandeps), un suelo pardo ándico (Andic Haplumbrepts), y dos suelos pardos eutróficos tropicales, penevolúe; uno de ellos (P. Birmagen) con características de hidromorfía (Umbric Dystrochrepts y Aquic Ustochrept).

Se ha utilizado la técnica de disolución diferencial de Segalen (1968), alternando CIH 8 N en frío, con NaOH 0,5 N en caliente. Se han realizado siete extracciones sucesivas.

La Si, Al y Fe se determinaron por espectrofotometría de absorción atómica (Perkin Elmer 300).

Se han representado las curvas de velocidad de disolución siguiendo las indicaciones de Lamouroux, Quantin, 1973.

El análisis total, necesario para el cálculo de las velocidades de disolución, se determinó por fusión con FH + NO₃H en reactores de presión.

Los constituyentes minerales cristalizados se identificaron por difracción de rayos X, antes y después del tratamiento, utilizando un difractómetro de rayos X, con anticátodo de cobalto.

CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS

Las características mineralógicas más importantes de los suelos seleccionados se resumen en la tabla I.

Los Andosoles, además de productos amorfos alofánicos, presentan cantidades apreciables de imogolita, especialmente en los horizontes profundos. La gibsita también es importante en estos horizontes. Los óxidos de Fe están representados fundamentalmente por hematites y en algunos casos, magnetita.

En los suelos pardos eutróficos, predominan las arcillas de tipo 1/1 (haloisita-metahaloesita); la forma hidratada aumenta con la profundidad.

También existen pequeñas cantidades de arcillas 2/1 (montmorillonita, e interstratificados probablemente ilita-clorita), especialmente en los horizontes profundos del perfil Birmagen. Existen trazas de gibsita, hematites y goethita.

El suelo pardo ándico, presenta características mineralógicas intermedias entre los dos grupos citados, con un predominio de material alofánico en el horizonte superficial y haloesita hidratada en profundidad.

RESULTADOS

SiO₂

Tanto las curvas acumulativas como las cinéticas (figs. 1 y 2) ponen de manifiesto la diferencia del estado de la sílice entre los andosoles y los diferentes tipos de suelos pardos. En los primeros, las curvas

T A B L A I

Características mineralógicas

Perfil	Hor.	Q	F	He o Go fina	Go	Mg	Gi	Ha	Metah	Im.	Arc. 2/1
LAS AVES (Andosol)	A	++	++	+	tr	+	+			tr	
	(B) C	++	+++	+	tr	—	tr			+	
	II B	+	—	tr	tr	—	++			++	
DOS CUPRESOS (Andosol)	A	++	—	tr	tr	+	tr			tr	
	A (B)	++	—	tr		+	tr			+	
	(B)	+	—	tr	tr	—	+			++	
TRANSICION (S. Pardo Andico)	A	++	+	tr	tr	tr	tr	+	+		tr
	(B) ₁	++	—	tr	tr	—	tr	++	—		tr
	(B) ₂	+	+		tr	—	tr	++++	—		tr
DOS POSTES (S. Pardo Eutrófico)	A	+++	—	tr	tr	—	tr	—	+		—
	A/(B)	++	+	tr	tr	tr	tr	+	—		—
	(B)	++	tr	tr	+	tr		+++	tr		tr
BIRMGAGEN (S. Pardo Eutrófico)	II B	++	tr	tr		tr		+++	tr		tr
	A ₁₁	++	+	tr	tr	tr				+	tr
	A ₁₂	+	—	tr	tr	tr				+	tr
	(B)	—	—	—	tr	tr		+++			tr
	(B) C	++	++++	—	—	tr		++			—
C	++	tr			—			++++			+

Q = Cuarzo
 F = Fe'despato
 He = Hematites
 Go = Goethita
 Mg = Magnetita
 Gi = Gibbsita
 Ha = Haloisita hidratada
 Metah = Metahaloisita
 Im = Imogolita
 Arc 2/1 = Arcillas 2/1

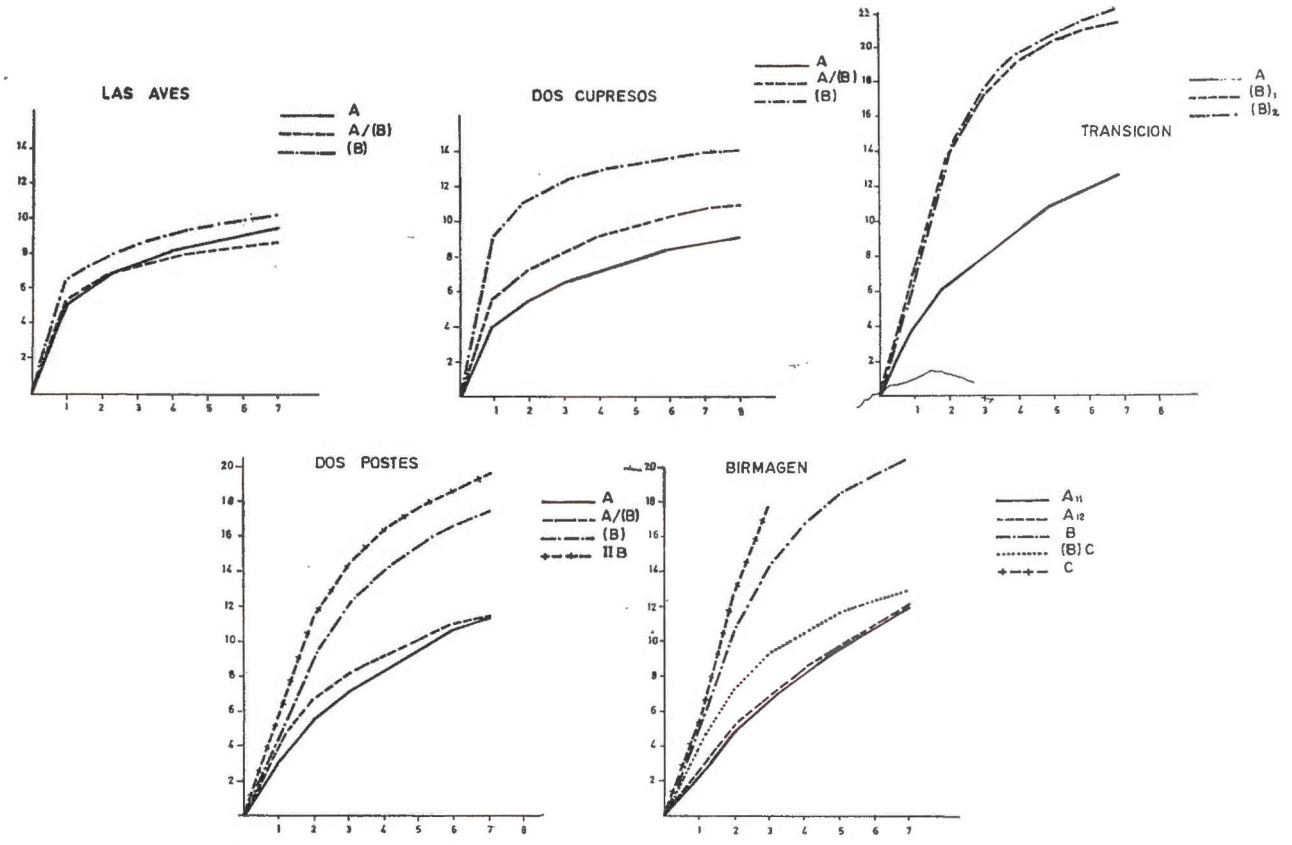


Fig. 1.—Curvas acumulativas de disolución de SiO_2 .

acumulativas muestran un cambio neto de pendiente después de la primera extracción, lo que pone de manifiesto la presencia de cantidades apreciables de SiO_2 amorfa (5,0-11,3) (tabla II). Sin embargo, hay que señalar que el cambio de pendiente no es tan acusado como el que presentan otros tipos de andosoles (Quantin, Lamouroux, 1974), indicando una disolución progresiva de sílice.

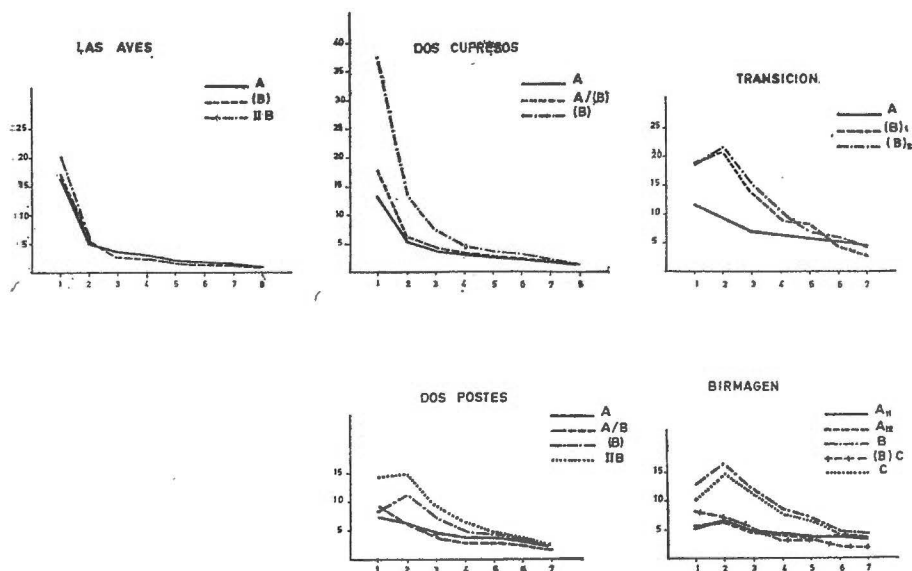


Fig. 2.—Curvas de velocidad de disolución de SiO_2 .

En las curvas cinéticas, la solubilidad de SiO_2 en los andosoles se traduce por una velocidad elevada en la primera extracción, especialmente en los horizontes profundos, permaneciendo luego prácticamente constante.

En los suelos pardos, el cambio gradual de pendiente de las curvas acumulativas, implica que la estimación de la SiO_2 amorfa por este procedimiento sea difícil.

Las curvas cinéticas correspondientes son típicas de filosilicatos muy solubles (Colmet Daage, 1973; Quantin, Lamouroux, 1974), en este caso haloisita. Las curvas de los horizontes profundos presentan una forma muy característica, con un máximo en la segunda extracción.

Al_2O_3

En los andosoles y horizonte A del perfil transición, igual que ocurría con la sílice, las curvas acumulativas (fig. 3) presentan un cambio brusco de pendiente. La alúmina amorfa estimada, que oscila entre 9,9 y 17,5, aumenta con la profundidad (tabla II).

La velocidad de disolución, inicialmente muy elevada (30-55 por 100), cae bruscamente después de la primera extracción.

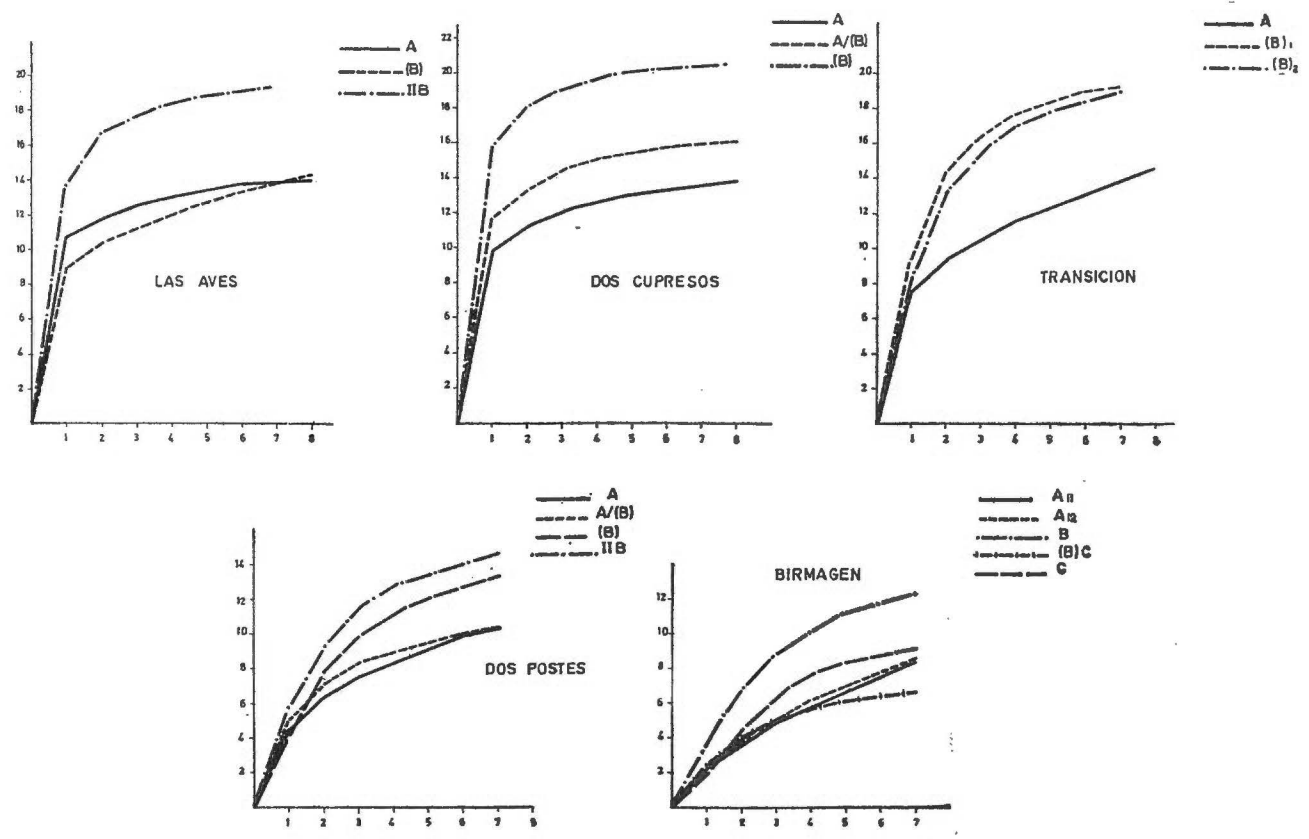


Fig. 3.—Curvas acumulativas de disolución de Al_2O_3 .

Las curvas acumulativas correspondientes a los suelos pardos muestran un cambio de pendiente gradual y presentan un gran paralelismo con las curvas obtenidas para la sílice.

TABLA II

Productos amorfos calculados por el método de la tangente

Perfil	Hor.	Fe ₂ O ₃ %	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %
Las Aves.....	A	3.2	6.5	11.8
	(B) C	2.1	6.5	9.9
	II B	4.8	7.8	15.9
Dos Cupresos.....	A	4.1	5.0	11.8
	A/(B) (B)	3.5 3.5	7.0 11.3	13.9 17.5
Transición.....	A	4.1		
	(B) ₁	5.2		
	(B) ₂	6.7		
Dos Postes.....	A	3.6		
	A/(B)	3.8		
	(B)	3.6		
	II B	2.9		
Birmagen.....	A ₁₁	4.7		
	A ₁₂	4.2		
	(B)	8.8		
	(B) C	6.4		
	C	1.0		

Las velocidades de disolución (fig. 4) se mantienen relativamente elevadas y solamente dos horizontes (hor. (B) del perfil Dos Postes, y hor. C de Birmagen) presentan el «máximo» en la segunda extracción, como ocurría en el caso de la sílice; aunque en el resto de los horizontes profundos, la velocidad en la segunda extracción es del mismo orden que en la primera.

Destacamos que para este elemento las velocidades de disolución son en las distintas extracciones siempre superiores que en el caso de la SiO₂.

Fe₂O₃

En relación con el Al y la sílice, las curvas acumulativas de Fe (fig. 5) presentan un cambio de pendiente más neto en todos los perfiles, aunque en los andosoles el cambio es más progresivo.

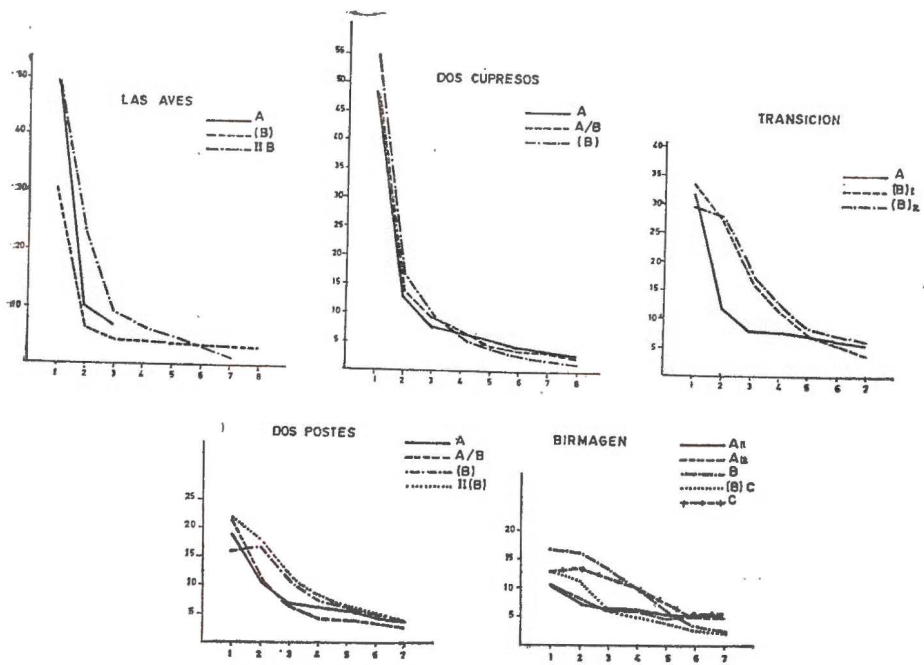


Fig. 4.—Curvas de velocidad de disolución de Al_2O_3 .

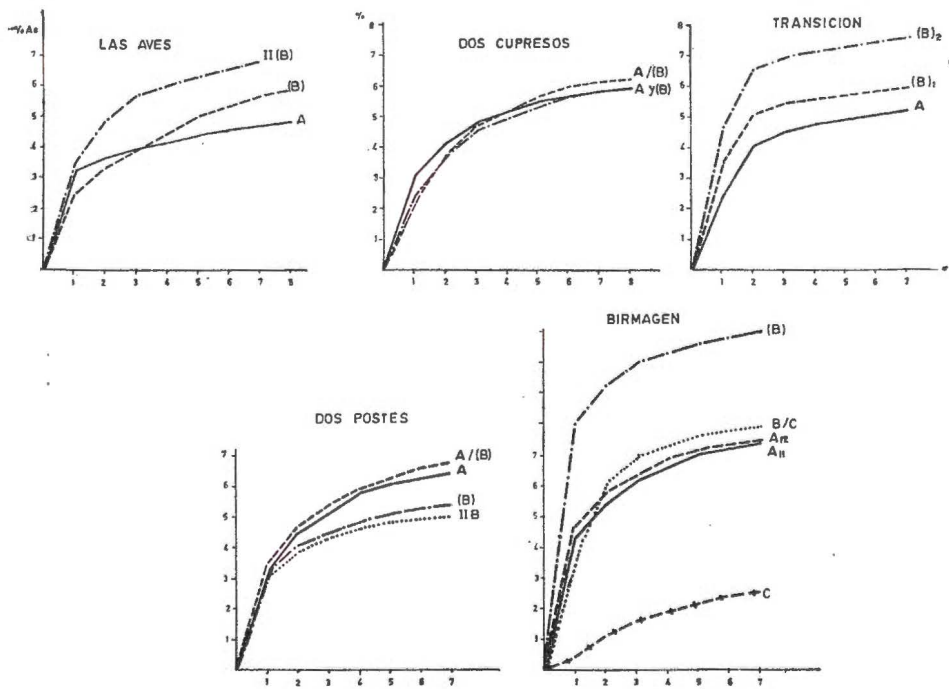


Fig. 5.—Curvas acumulativas de disolución de Fe_2O_3 .

Los valores de Fe «amorfo» calculados por el procedimiento de la tangente en las curvas acumulativas, oscilan entre 2,1 y 4,8 en los andosoles y entre 1,0 y 8,8 en los suelos pardos (tabla II).

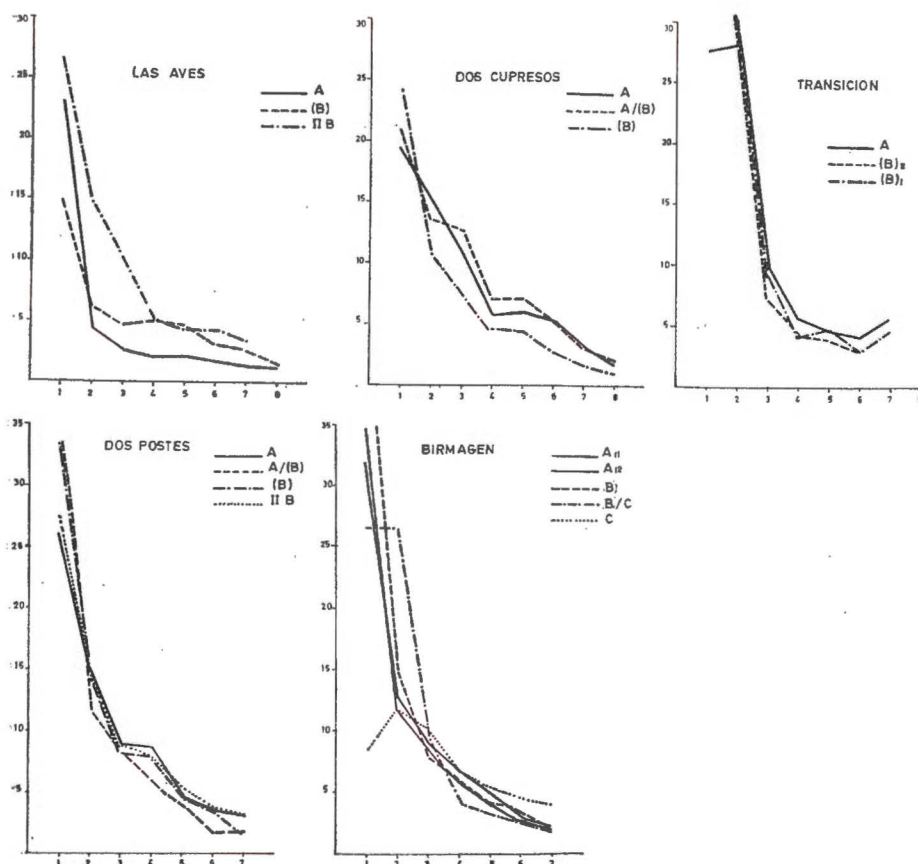


Fig. 6.—Curvas de velocidad de disolución de Fe₂O₃.

A diferencia de lo que ocurre en la SiO₂ y Al₂O₃, en los andosoles no se observa una tendencia definida a lo largo del perfil.

Con respecto a la cinética de este elemento, se observa que la velocidad de disolución (fig. 6) es, en general, más elevada en los suelos pardos, especialmente en las primeras extracciones.

Las formas de las curvas de velocidad indican en todos los suelos la presencia de productos criptocristalinos (Quantin, Lamouroux, 1974); en el caso del hor. A del perfil Transición y los horizontes (B)C y C del perfil Birmagen, las curvas correspondientes son análogas a las observadas por Quantin y Lamouroux, 1974, para la goethita.

En el caso de los andosoles, el Fe es el único elemento que presenta valores de disolución irregulares, a lo largo de las extracciones.

EFECTO DEL TRATAMIENTO EN LOS COSTITUYENTES MINERALES CRISTALINOS.

El estudio de la influencia del ataque ácido-base sobre los constituyentes minerales cristalizados, se ha seguido comparando los difractogramas de rayos X antes y después del tratamiento.

En todas las muestras se observa un aumento considerable de los efectos de los minerales primarios después del tratamiento, y por otra parte, debido al solapamiento de efectos, con frecuencia resulta difícil la identificación exacta de algunas especies minerales y por tanto la influencia que el tratamiento haya podido tener; por ejemplo en el caso de la goethita y magnetita. En consecuencia, solamente se puede apreciar con cierta exactitud la posible disolución de estos productos en el caso de que se encuentren en cantidades importantes.

Indicamos a continuación, los resultados de esta observación, representando un horizonte característico de cada caso.

*Oxidos e hidróxidos de Fe y Al**Gibbsite*

Los difractogramas de rayos X revelan la gran solubilidad de este mineral con el procedimiento utilizado. En todas las muestras que lo contienen desaparece prácticamente el efecto 4,86 Å de este mineral. Como podemos observar en la figura 7, correspondiente al hor. IIB del perfil Las Aves, que presenta el mayor contenido en gibbsite.

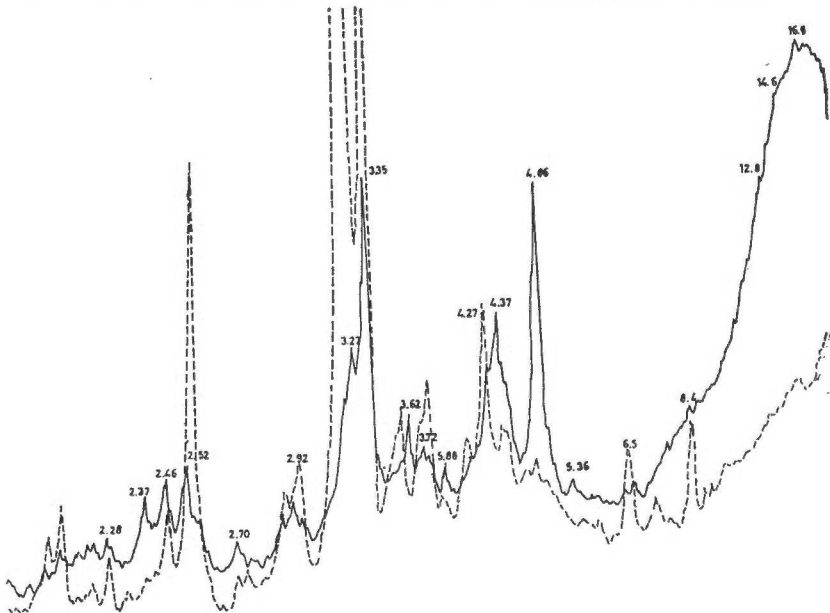


Fig. 7.—«Las aves» Hor. II (B). Diagramas de rayos X antes y después del tratamiento.

Hematites y goethita

El efecto a 2,70 Å correspondiente a hematites o goethita fina y el 4,16 Å de la goethita, no sufren prácticamente variación o aumentan ligeramente en todos los casos después del tratamiento (fig. 8).

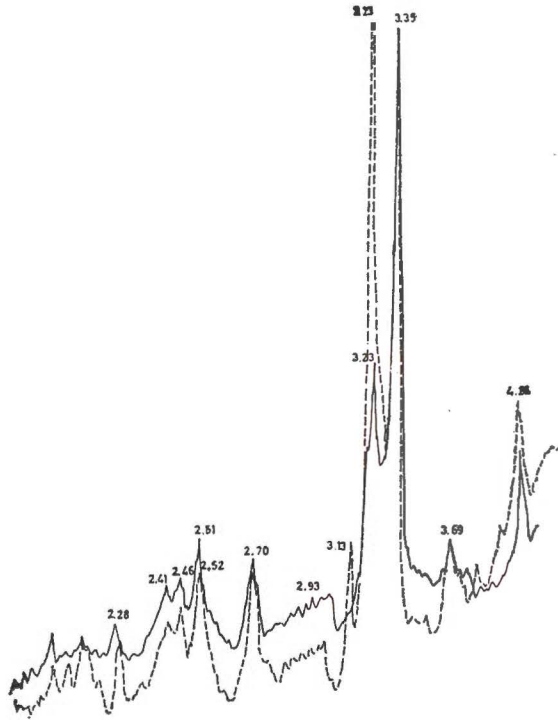


Fig. 8.—«Las aves» Hor. (B) C. Diagramas de rayos X antes y después del tratamiento.

Este hecho nos lleva a pensar, que o bien estos minerales no han sido afectados, o que la disolución parcial no se pone de manifiesto debido al aumento de intensidad de los efectos, que se produce después del ataque.

*Minerales de arcilla**Imogolita*

Este mineral, que aparece en cantidades apreciables en los andosoles, se solubiliza prácticamente durante el tratamiento (fig. 7).

Arcillas 1:1

Estos minerales están representados por haloisita hidratada y meta-haloisita.

Los difractogramas de rayos X después del tratamiento ponen de manifiesto que el efecto principal a 10 Å de la haloisita hidratada desaparece prácticamente, y el efecto a 7,3 Å de la meta-haloisita permanece inalterado. No puede pensarse que la desaparición del efecto a 10 Å se debe a la deshidratación de la haloisita, ya que no aumenta el efecto

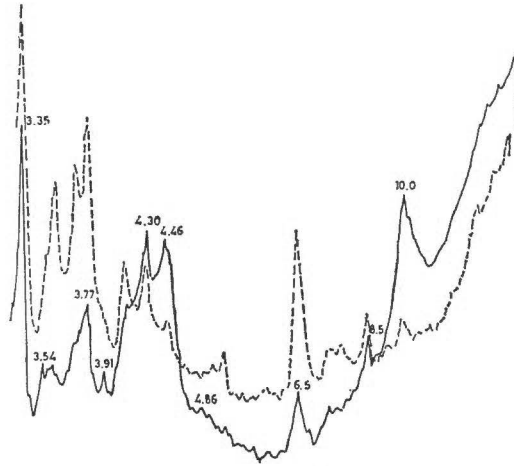


Fig. 9.—«Birmagen» Hor. (B) C. Diagramas de rayos X antes y después del tratamiento.

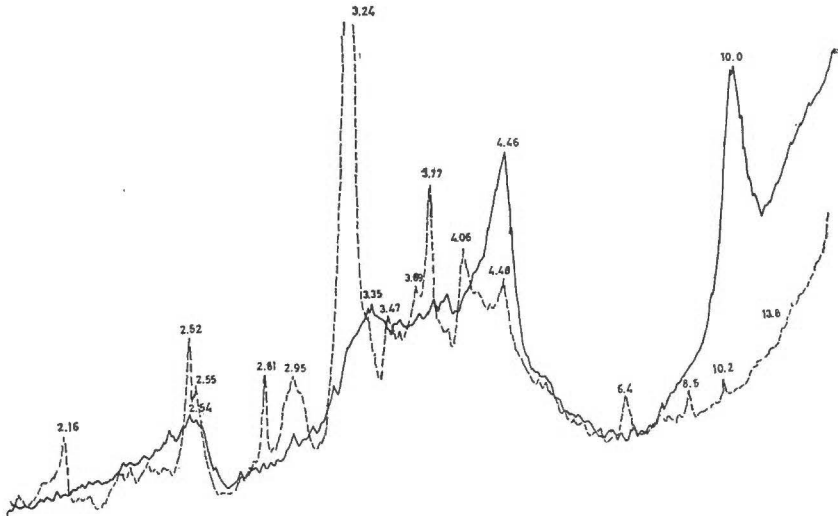


Fig. 10.—«Birmagen» Hor. C. Diagramas de rayos X antes y después del tratamiento.

a 7,3 Å, y por otra parte, en el caso de haloisita hidratada prácticamente pura, como se observa en los horizontes C y (B)C del perfil Birmagen (figs. 9 y 10) desaparecen los efectos correspondientes a este mineral.

Asimismo hemos comprobado en todos los horizontes en los que predomina la metahaloisita, que este mineral no se modifica por efecto del tratamiento (por ejemplo: hor. A₁₂ del perfil Birmagen, fig. 11).

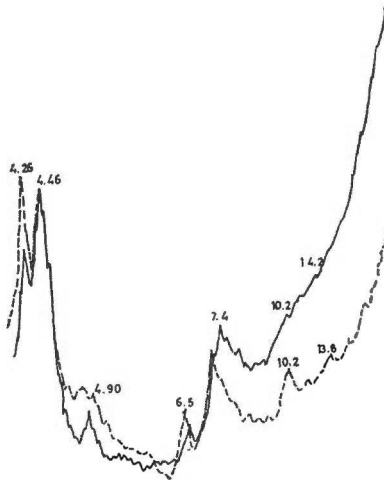


Fig. 11.—«Birmagen» Hor. A₁₁. Diagramas de rayos X antes y después del tratamiento.

DISCUSIÓN

El estudio de los difractogramas de rayos X, antes y después del tratamiento, así como de algunos parámetros, nos suministra una información valiosa para la interpretación de las curvas de disolución.

Andosoles

Al describir las curvas acumulativas de SiO₂, indicábamos un cambio de pendiente menos neto que en andosoles sin imogolita, lo que nos hace pensar que este resultado puede ser debido a la disolución de las cantidades apreciables de imogolita que contienen las muestras, como hemos podido confirmar por rayos X.

En el caso del Al, la cantidad de este elemento estimada de acuerdo con el procedimiento de la tangente, no puede atribuirse exclusivamente a formas amorfas sino que probablemente está incluido el Al correspondiente a productos más solubles, como gibsita e imogolita, que desaparecen totalmente después del tratamiento como se ha comprobado por rayos X. Asimismo, las relaciones SiO₂/Al₂O₃ corres-

pondientes a cada extracción ponen de manifiesto la solubilidad del Al, ya que aumentan notablemente de la primera a la séptima extracción, exceptuando el hor. (B)C del perfil Las Aves donde la disolución del Al es todavía apreciable en la última extracción (fig. 12). En esta figura se representan las relaciones $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ de las muestras que caracterizan la tendencia general.

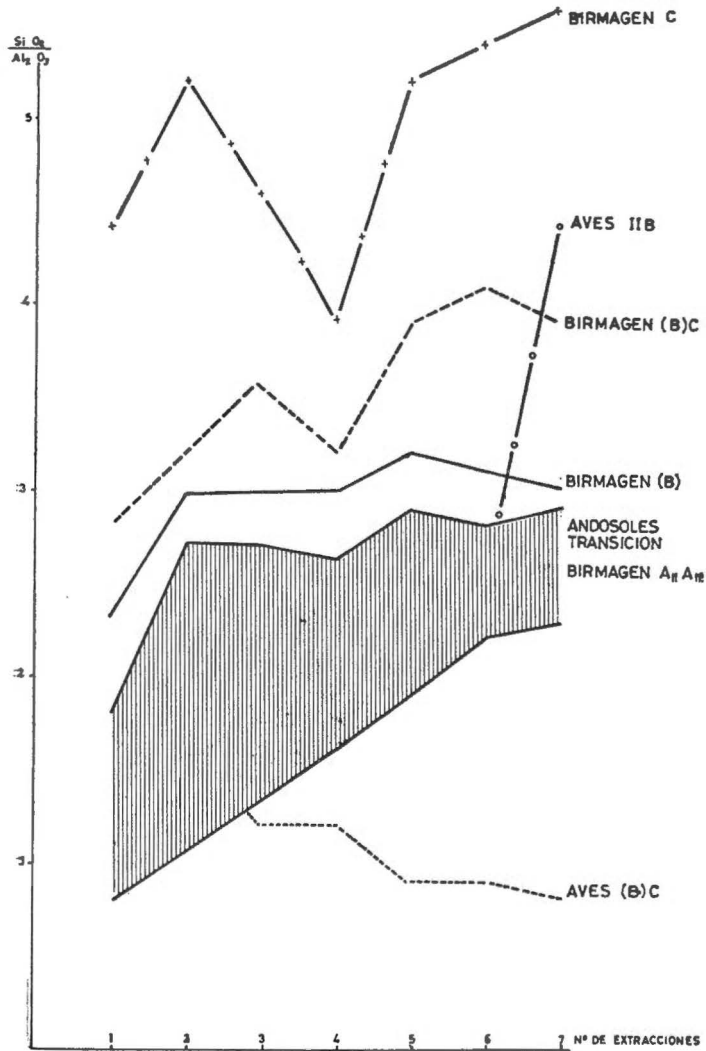


Fig. 12.

Suelos pardos

Como hemos observado, las curvas cinéticas de SiO_2 presentan una forma característica con un máximo en la segunda extracción. Aunque las correspondientes de Al presentan un cierto paralelismo con las de SiO_2 , el máximo en la segunda extracción es menos acusado. La forma de estas curvas junto con la mayor velocidad de disolución del Al con respecto a la sílice, puede atribuirse al ataque preferencial de las capas octaédricas de la haloisita (Colmet Daage, 1973).

Este hecho puede igualmente explicar los bajos valores de las relaciones $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ observados en la primera extracción y que se estabilizan posteriormente a valores del orden de 2,5, que se aproximan a la relación $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ de la haloisita; ligeramente aumentada por la disolución de los minerales primarios contenidos en la muestra.

TABLA III

Fracción inferior a 2 μ

Las aves		2 Cupresos		Transición		2 Postes		Birmagen	
A	34.2	A	28.0	A	37.5	A ₁	38.9	A ₁₁	42.8
(B) C	13.3	A/(B)	35.8	(B) ₁	53.7	A/(B)	44.7	A ₁₂	49.1
II B	—	(B)	40.4	(B) ₂	57.1	(B)	61.7	(B)	41.1
						II (B)	52.4	(B) C	32.4
								C	33.9

El hecho de que los horizontes profundos, con un predominio neto de haloisita hidratada, presenten las curvas de velocidad de disolución con el máximo en la segunda extracción, nos hace pensar que estas curvas son características de la haloisita hidratada. Por otra parte, si relacionamos los valores de la fracción inferior a 2 μ (tabla III) con las cantidades respectivas de haloisita y metahaloisita (tabla I) observamos que efectivamente es el tipo de arcilla el que influye en la forma de las curvas de disolución. Por ejemplo: los horizontes A₁₂ y C del perfil Birmagen tienen respectivamente 49,0 y 33,9 por 100 de fracción arcilla, con predominio de metahaloisita en el primer caso y haloisita hidratada en el segundo; las curvas de disolución reflejan la mayor insolubilidad en el horizonte A₁₂.

SECUENCIA CLIMÁTICA

El estudio de la técnica de disolución diferencial de Segalen aplicado a estos suelos, que como hemos indicado constituyen una secuencia climática, pone de manifiesto un aumento de la cristalinidad de los

compuestos de SiO_2 y Al_2O_3 desde las regiones húmedas hacia unas condiciones de clima más seco.

Esta evolución corresponde a una transformación de los productos amorfos alofánicos en filosilicatos cristalinos tipo haloisítico.

Igualmente, se pone de manifiesto una deshidratación de la haloisita en los horizontes superficiales de los suelos pardos.

Con respecto al Fe, no se observa una tendencia definida a lo largo de la secuencia, debido probablemente a la lenta evolución de los óxidos e hidróxidos de este elemento.

CONCLUSIONES

El estudio comparativo de los difractogramas de rayos X antes y después del tratamiento pone de manifiesto que esta técnica de disolución, en algunos casos, como en los andosoles, no permite diferenciar las formas amorfas de las cristalinas muy solubles (gibbsite, imogolita).

Sin embargo, en el caso de los suelos pardos, esta técnica revela la existencia de dos grados de solubilidad para la haloisita (haloisita hidratada, muy soluble, y metahaloisita, mucho más resistente).

En el caso del Fe, esta técnica nos indica la presencia de formas criptocristalinas de este elemento, de comportamiento cinético similar a lo largo de toda la secuencia.

RESUMEN

Se estudia la disolución de Si, Al y Fe por la técnica de disolución ácido-base de Segalen en una secuencia climática de suelos volcánicos (Andosoles y Suelos Pardos) de la Isla de Tenerife. El análisis por rayos X de las muestras antes y después del tratamiento pone de manifiesto que este método no permite diferenciar las formas amorfas de las cristalinas muy solubles (gibbsite, imogolita). Se ha observado que la haloisita presenta dos tipos de solubilidad según se encuentre en forma hidratada o como metahaloisita. La cinética de disolución del Fe es similar a lo largo de toda la secuencia.

*Centro de Edafología y Biología Aplicada de Tenerife.
Universidad de La Laguna.*

BIBLIOGRAFÍA

- COLMET DAAGE, F., GAUTEYROU, J. et M., KIMPE, C. DE (1973). Etudes des sols à allophane par techniques de dissolution différentielle. Cah. ORSTOM, Série Pédologie, vol. XI, núm. 2, 97-120.
- LAMOUREUX, M., QUANTIN, P. (1973). Utilisation de courbes de vitesse de dissolution dans la méthode cinétique de Segalen. Cah. ORSTOM, Série Pédol., vol. XI, núm. 1, 3-14.
- QUANTIN, P., FERNÁNDEZ CALDAS, E., TEJEDOR SALGUERO, M. L. (1978). Séquence climatique des sols récents de la région septentrionale de Tenerife (Iles Canaries). 2^{ème} Partie: Caractéristiques mineralogiques. interpretation et classification. Cah. ORSTOM. Sér. Pédol., vol. XVI, núm. 4, 397-412.
- QUANTIN, P., LAMOUREUX, M. (1974). Adaptation de la méthode cinétique de Segalen à la détermination des constituants minéraux des sols variés. Cah. ORSTOM, Série Pédol., vol. XII, núm. 1, 13-46.

- SEGALEN, P. (1968). Note sur une méthode de détermination des produits amorphes dans certains sols à hydroxides tropicaux. Cah. ORSTOM, Série Pédol., vol. VI, núm. 1, 105-126.
- SEGALEN, P. y col. (1972). Effet de méthodes d'extraction cinétique utilisées pour la détermination des produits ferrugineux sur quelques minéraux purs. Cah. ORSTOM. Sér. Pédol., vol. X, núm. 3, 251-171.
- TEJEDOR SALGUERO, M. L., FERNÁNDEZ CALDAS, E., QUANTIN, P. (1978). Séquence climatique des sols recents de la région septentrionale de Tenerife (Iles Canaries). 1^{era} Partie: Ecologie, morphologie, caractéristiques physico-chimiques. Cah. ORSTOM. Sér. Pédol., vol. XVI, núm. 3, 251-264.

Recibido para publicación: 14-III-78

DISOLUCION DIFERENCIAL DE Si, Al Y Fe

II. SECUENCIA CLIMATICA: S. FERRALITICOS, S. FERSIALITICOS Y VERTISOLES

por

E. FERNANDEZ CALDAS, M. L. TEJEDOR SALGUERO
y J. M. HERNANDEZ MORENO

SUMMARY

SELECTIVE DISSOLUTION OF Si, Al AND Fe. II. CLIMATIC SEQUENCE: VERTISOL, FERRALLITIC AND FERSIALITIC SOILS

Si, Al and Fe dissolution by acid-base technique of Segalen is studied in a climatic sequence of volcanic soils of the Island of Tenerife (Vertisol, Ferrallitic and Fersiallitic Soils). The results are correlated with the effect of the treatment in different crystalline compounds by means of X-ray analysis before and after the treatment. In some cases the dissolution kinetics of certain minerals (halloysite and smectite) can be characterised. Fe dissolution kinetics can differentiate «free» forms from Fe as constituent in the clay minerals.

INTRODUCCIÓN

La técnica de disolución de Segalen contribuye a la diferenciación de algunos minerales y al conocimiento de su grado de cristalinidad (Segalen, 1968; Quantín, Lamouroux, 1974).

Su aplicación a secuencias de suelos permite seguir la evolución de los minerales al pasar de unas formaciones edáficas a otras. En un trabajo anterior estudiamos en este sentido una secuencia de suelos formados sobre materiales recientes (Cabezas, Fernández Caldas, Tejedor Salguero, Hernández, 1978). En esta ocasión aplicamos este método a una secuencia climática de suelos formada sobre materiales antiguos y constituida por suelos ferralíticos, fersialíticos y vertisoles.

Generalmente estos perfiles se encuentran fosilizados por suelos que corresponden a una génesis más moderna, aunque en ocasiones, en regiones con topografía muy accidentada, la erosión permite una observación directa de estos suelos en la superficie.

MATERIAL Y MÉTODOS

La secuencia climática estudiada comprende:

Tres suelos ferralíticos rejuvenecidos en superficie con carácter ándico. En dos de ellos (perfil Poleo y Sta. Ursula) estudiamos igualmente el suelo superficial.

Dos suelos fersialíticos.

Un vertisol.

Se ha utilizado la técnica de disolución de Segalen (1968), alternando HCl en frío con NaOH caliente. Se han realizado 7 extracciones sucesivas, determinando en cada una de ellas Si, Al y Fe por espectrofotometría de absorción atómica (Perkin Elmer 300).

Se han representado las curvas cinéticas de disolución, siguiendo las indicaciones de Lamouroux y Quantin (1973). El análisis total necesario para el cálculo de las velocidades de disolución se determinó por fusión con HF + HNO₃ en reactores de presión.

Los constituyentes minerales cristalinos se identificaron por difracción de rayos X antes y después del tratamiento, utilizando un difractómetro de rayos X con anticátodo de cobalto.

Debemos señalar que en los perfiles Sta. Ursula y Las Lajas, la composición mineralógica indicada en la tabla I, corresponde a muestras tratadas por el método de Jackson (1958), mientras que la composición de los restantes perfiles se ha realizado sobre muestras intactas. Por esta razón, probablemente la arcilla predominante en los dos perfiles citados sea la metahalosita, aunque por las condiciones en que se encuentran los suelos debería esperarse un predominio de halosita hidratada.

CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS

El estudio de las características de estos suelos, así como la interpretación y clasificación se encuentran en trabajos anteriores (Fernández Caldas y col.; Tejedor Salguero y col., 1978).

Las propiedades mineralógicas más importantes de estos suelos se resumen en la tabla I.

En los suelos ferralíticos podemos distinguir dos tipos. Aquellos en los que predominan las arcillas 1/1 (metahalosita-halosita) y los que son ricos en gibsite.

En los horizontes rejuvenecidos de estos perfiles existen cantidades importantes de alofana, y en ocasiones de imogolita. Al microscopio electrónico hemos podido observar la presencia de caolinita en el horizonte (B) del perfil Poleo.

En los suelos fersialíticos encontramos arcillas 1/1 y 2/1. En el perfil Las Rosas predominan las primeras (halosita-metahalosita), mientras que en los horizontes profundos del perfil Bco. Hondo predominan las arcillas montmorilloníticas. Este suelo puede considerarse como transición hacia los vertisoles. También la ilita está representada

TABLA I

Características mineralógicas

Perfil	Hor	Q	F	He o Go fina	Go	Mg	Gi	Ha	Metah	Im.	Arc. 2/1
POLEO (Andosol/Ferralítico)	A	+	+	—	tr	—	++	tr	—	—	tr
	(B)	—	tr	tr		tr	tr	++			tr
	II (B)	+	tr	—		—	+++	+			tr
STA. URSULA (S. Ferralítico)	A	+		tr	tr	tr	—	tr	+		tr
	(B)	—		tr	tr	tr		tr	++		
	C	tr		tr	tr	tr		—	++		
	II (B)							+	++		
	II C	tr		tr	tr	tr	tr	—	++		
LAS LAJAS (S. Ferralítico)	II (B) ₁	+	tr	tr	tr	tr	+		+		
	II (B) ₂	tr	tr	tr	tr	tr	++		++		
	II (B) C			tr	tr	tr	++++		—		
LAS ROSAS (S. Ferralítico)	A	+	—	tr	tr	tr		+	+		tr
	A/(B)	—	tr	tr	tr			++	tr		
	(B)	tr	++++					+	—		—
	(B) C	++	+	—		—		+	+		—
BCO HONDO (S. Ferralítico)	A	—	+	+		tr			+		—
	(B)	tr		+		tr			+		+
	(B) C		++			—			—		++

Q = Cuarzo
F = Feldespato
He = Hematites
Go = Goethita
Mg = Magnetita

Gi = Gibbsita
Ha = Haloisita hidratada
Metah = Metahaloisita
Im = Imogolita
Arc 2/1 = Arcillas 2/1

en estos suelos. En el perfil Las Rosas existe una discontinuidad litológica, como se pone de manifiesto por las características mineralógicas.

En el vertisol, como es evidente, los minerales de arcilla están representados fundamentalmente por montmorillonita (nontronita) acompañada de algunos minerales caolíníticos y algo de ilita abierta.

Con respecto a los minerales de Fe, únicamente en el perfil Bco. Hondo se encuentran proporciones importantes de hematites, y pequeñas cantidades de hematites y goethita en el resto de los perfiles.

Aunque los difractogramas de rayos X no nos indican una gran abundancia de magnetita, el estudio petrográfico de la fracción arena pone de manifiesto cantidades apreciables de este mineral en los suelos ferralíticos, donde aparecen alterados superficialmente.

RESULTADOS

SiO_2

Las curvas acumulativas (fig. 1) muestran en general un cambio progresivo de pendiente, exceptuando los perfiles Bco. Hondo, y especialmente Bajamar, que presentan curvas prácticamente lineales. Las curvas de los horizontes A y A/(B) del perfil Las Rosas tienen forma sigmoidea en el primer tramo.

En las curvas de velocidad podemos distinguir tres casos (fig. 2):

1. Solubilidad inicialmente elevada que disminuye rápidamente. Es el caso de los horizontes A y (B) del perfil Poleo, y hor. A del perfil Sta. Ursula.
2. Curvas con un máximo en la segunda extracción, disminuyendo irregularmente la velocidad en las restantes extracciones (suelos ferralíticos y fersialíticos con haloisita).
3. Curvas de velocidad de disolución muy irregular, que no presentan grandes variaciones a lo largo de las extracciones.

Al_2O_3

Igual que ocurría con la SiO_2 , las curvas acumulativas presentan dos tendencias (fig. 3). Por una parte, cambio progresivo de pendiente en los suelos ferralíticos y fersialíticos con haloisita. Los horizontes A y (B) del perfil Poleo y hor. A del perfil Sta Ursula presentan una pendiente inicial acusada, lo que está de acuerdo con el comportamiento ándico de estos horizontes.

Por otra parte, observamos en los suelos con arcillas 2/1 curvas prácticamente rectilíneas.

En el tramo inicial de las curvas de los horizontes A y A/(B) del perfil Las Rosas se aprecia igualmente una tendencia sigmoidea.

Con respecto a las curvas cinéticas (fig. 4) se vuelven a observar los tres casos citados para la sílice, y además otro tipo de curva en el perfil Las Lajas donde la velocidad de disolución aumenta considerablemente en la cuarta extracción.

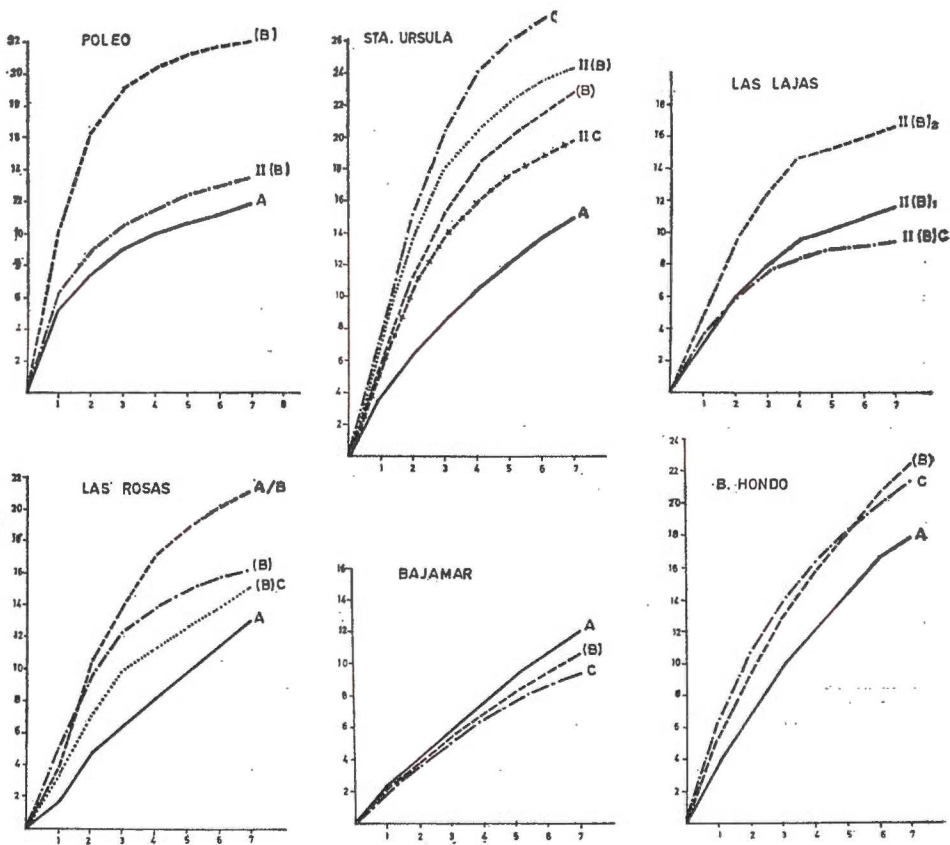


Fig. 1.—Curvas acumulativas de disolución de SiO_2 .

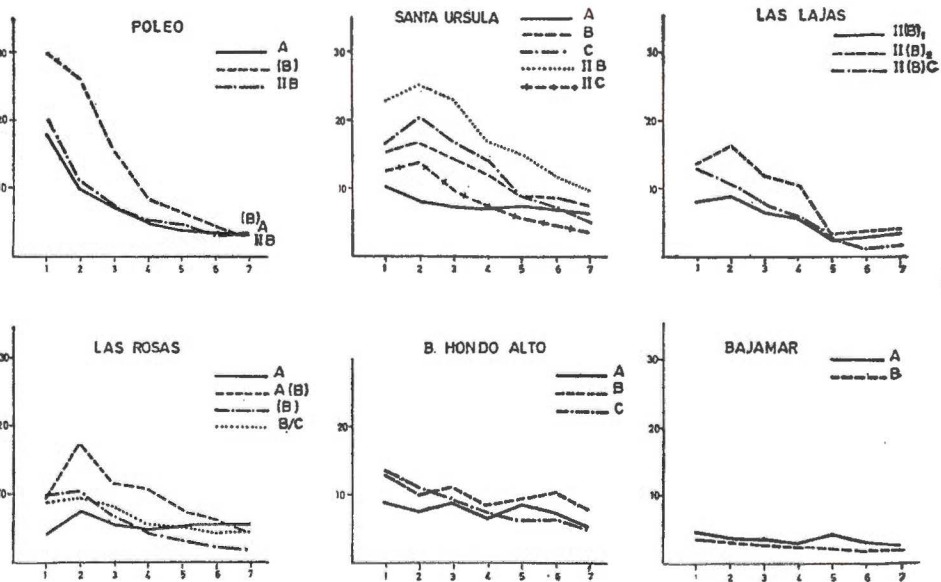


Fig. 2.—Curvas de velocidad de disolución de SiO_2 .

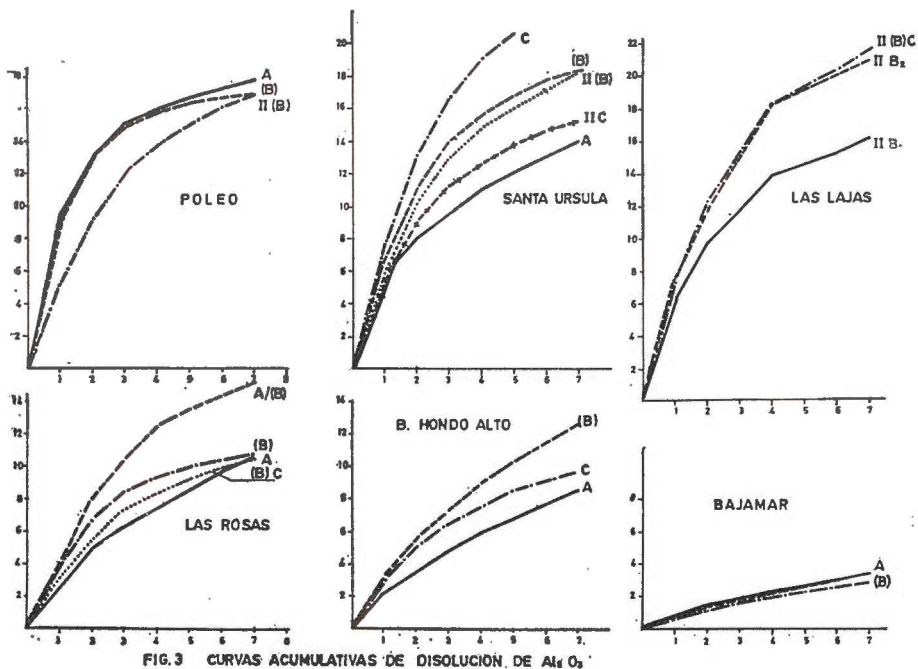


Fig. 3.—Curvas acumulativas de disolución de Al_2O_3 .

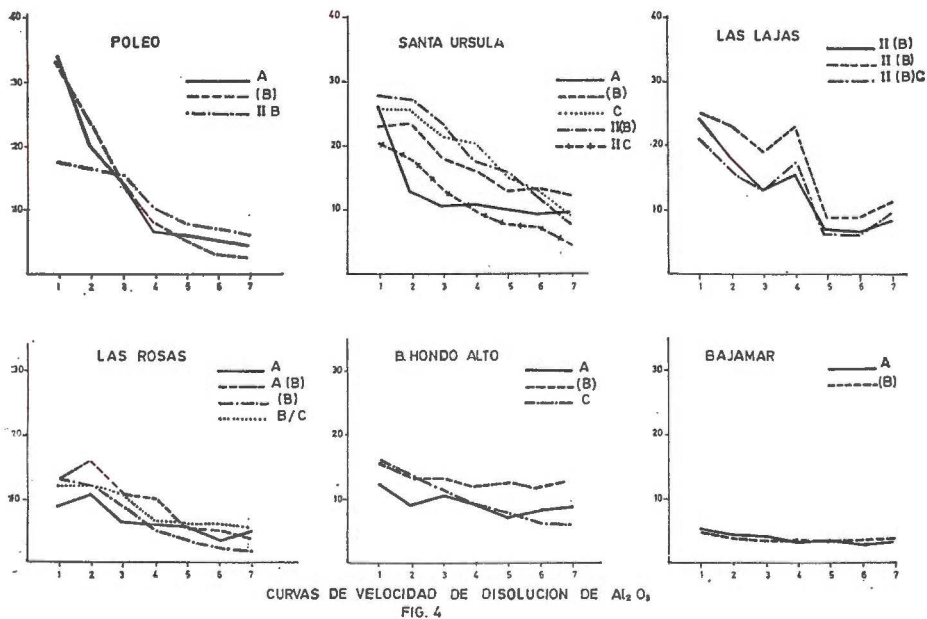


Fig. 4.—Curvas de velocidad de disolución de Al_2O_3 .

Fe_2O_3

En relación con la SiO_2 y Al_2O_3 , las curvas acumulativas de Fe (figura 5) presentan, en general, un cambio más neto de pendiente a partir de la primera o segunda extracción.

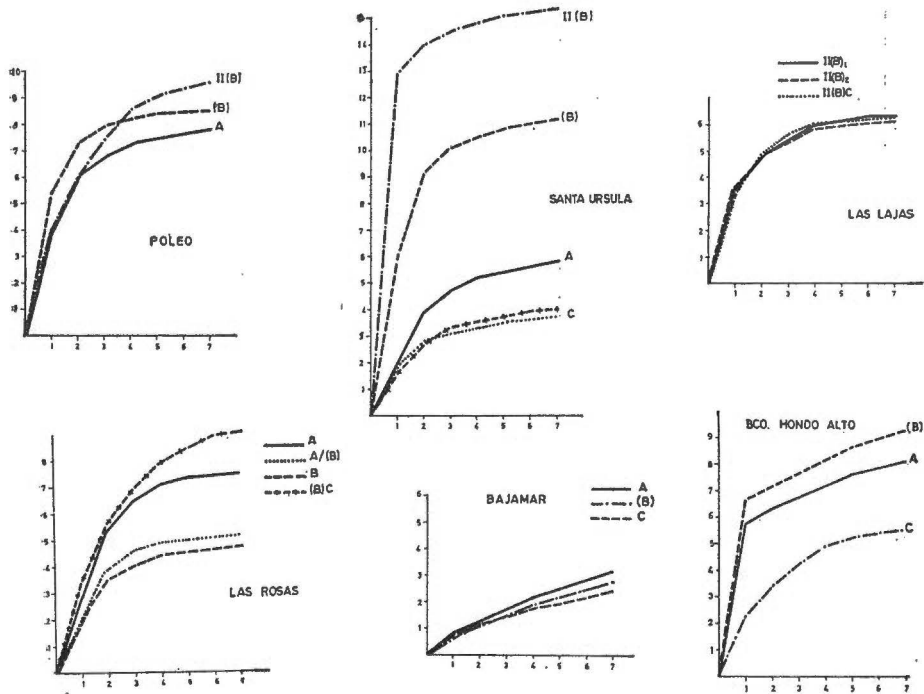


Fig. 5.—Curvas acumulativas de disolución de Fe_2O_3 .

En los horizontes II(B), (B)C y C de los perfiles Poleo, Las Rosas y Bco. Hondo respectivamente, las curvas muestran un cambio progresivo de pendiente. En el caso del vertisol, la curva es prácticamente rectilínea, como ocurría asimismo con los demás elementos.

En cuanto a las curvas cinéticas (fig. 6), destacamos los elevados valores de velocidad de disolución en las primeras extracciones, que llegan a alcanzar en algunos casos valores de un 75 por 100 (hor. IIB, perfil Sta. Ursula). En las restantes extracciones las velocidades decrecen irregularmente. En el caso del vertisol y del hor. C del perfil Bco. Hondo, la solubilidad del Fe es mucho menor, especialmente en el primero.

En algunos horizontes, las curvas presentan un máximo en la segunda extracción, y son similares a las observadas por Quantin y Lamouroux (1974) para la goethita.

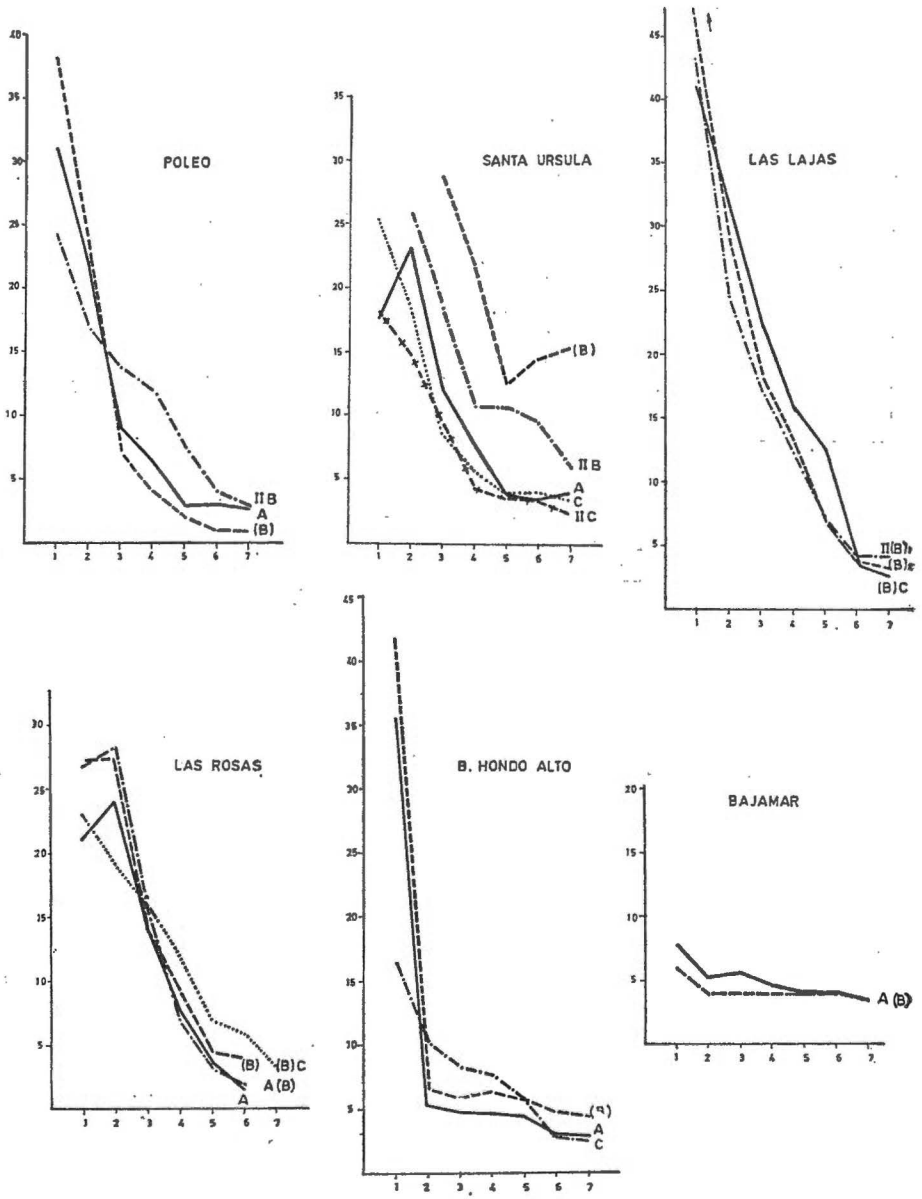


Fig. 6.—Curvas de velocidad de disolución de Fe_2O_3 .

EFECTO DEL TRATAMIENTO EN LOS CONSTITUYENTES MINERALES CRISTALINOS

Como hicimos en el trabajo anterior, estudiamos el efecto del ataque ácido-base mediante análisis por rayos X, antes y después del tratamiento.

Indicamos a continuación los resultados de esta observación, representando un horizonte característico de cada caso.

*Oxidos e hidróxidos de Fe y Al**Gibbsite*

En los suelos correspondientes a la secuencia sobre materiales recientes, indicábamos que esta técnica produce la disolución prácticamente total de la gibbsite, en suelos con un contenido moderadamente elevado de este mineral.

En esta ocasión, los horizontes de los suelos ferralíticos muy ricos en gibbsite, todavía presentan un efecto importante a 4,86 Å después del tratamiento (fig. 7). En los horizontes con una proporción de gibbsite similar a los de la secuencia anterior, el resultado es el mismo, es decir se solubiliza totalmente.

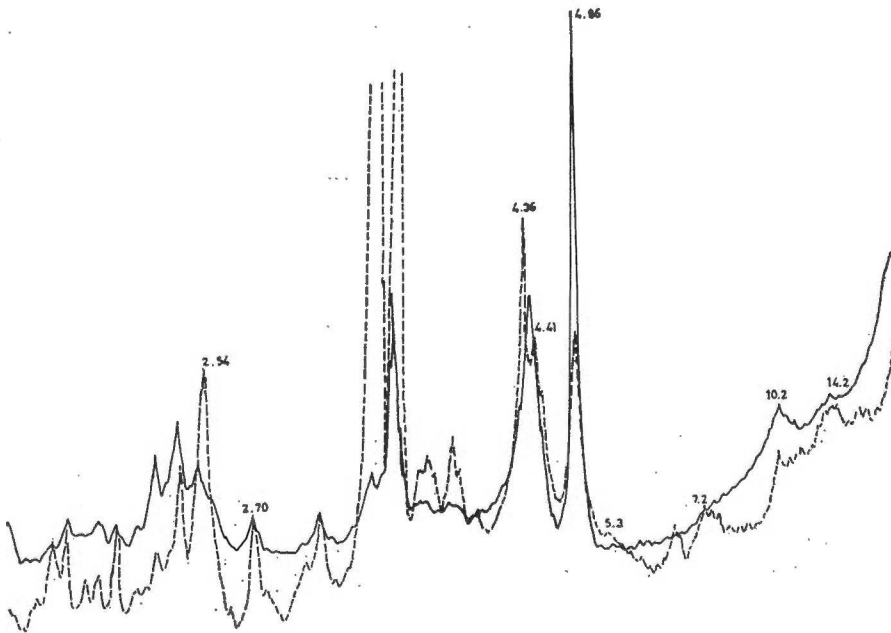


Fig. 7.—«Poleo» Hor. IIB. Diagramas de rayos X antes y después del tratamiento.

Oxidos e hidróxidos de Fe

El tratamiento no parece afectar sensiblemente a los hematites y goethita, como podemos observar en la figura 7, donde el efecto a 2,70 Å incluso aumenta.

En cuanto a la magnetita, aunque sus efectos no son muy intensos en los difractogramas de rayos X, el estudio mineralógico de la fracción arena pone de manifiesto, fundamentalmente en los suelos ferralíticos, cantidades muy importantes de este mineral, que aparece en estado avanzado de alteración.

Minerales de arcilla

Arcillas 1/1

La haloisita hidratada, y la metahaloisita son las arcillas 1/1 predominantes.

Como habíamos observado anteriormente (Cabezas, Fernández Caldas, Tejedor, Hernández, 1978) el efecto a 10 Å correspondiente a la haloisita desaparece con el tratamiento, pero en esta ocasión no se puede atribuir en todos los casos a una disolución total del mineral, ya que una parte de éste se ha deshidratado, transformándose en metahaloisita, como podemos observar en el aumento del efecto a 7,3 Å (figs. 8 y 9).

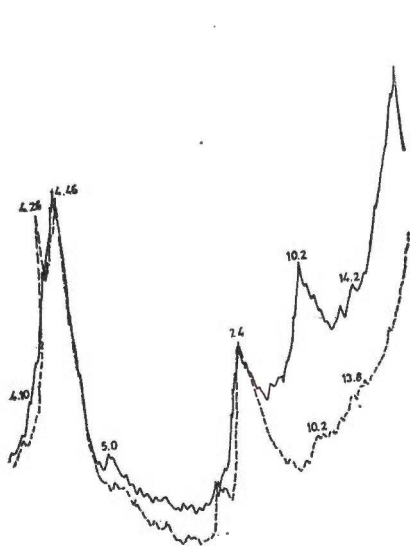


Fig. 8.—«Las Rosas» Hor. A. Diagramas de rayos X antes y después del tratamiento.

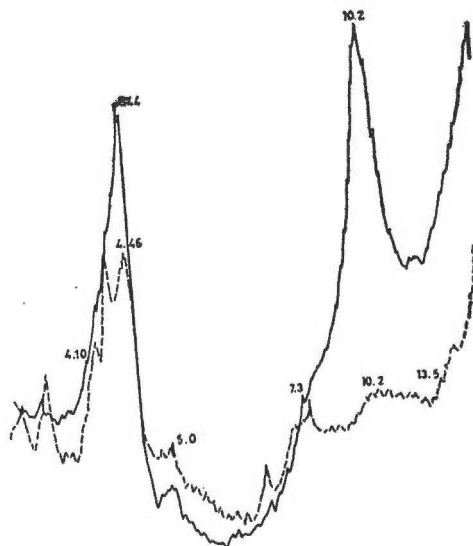


Fig. 9.—«Las Rosas» Hoh. A/(B). Diagramas de rayos X antes y después del tratamiento.

En lo que respecta a la metahaloisita, no observamos ninguna modificación por el tratamiento.

Arcillas 2/1

Estos minerales están representados por arcillas de tipo montmorillonítico, que como han indicado algunos autores (Segalen y col., 1972, etcétera) son muy solubles por este procedimiento, lo que hemos podido observar en los difractogramas de rayos X, donde el efecto a 14 Å disminuye considerablemente (fig. 10).

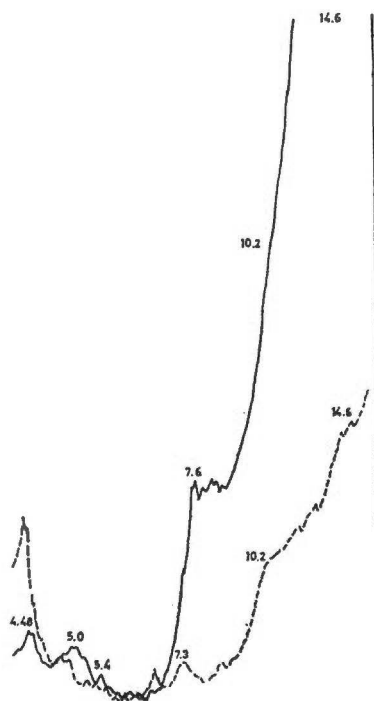


Fig. 10.—«Bajamar» Hor. C. Diagramas de rayos X antes y después del tratamiento.

DISCUSIÓN

SiO_2 y Al_2O_3

En el caso de la SiO_2 y Al_2O_3 , la pendiente de las curvas acumulativas corresponde a la disolución de productos cristalinos. Únicamente en el perfil Poleo la forma de la curva puede indicar la presencia de

productos amorfos, lo que está de acuerdo con las propiedades ándicas en los horizontes superficiales de este perfil.

De acuerdo con los difractogramas de rayos X, y las observaciones realizadas en un trabajo anterior, deducimos que el tratamiento afecta fundamentalmente a la gibsita, arcillas 1/1 y 2/1.

Gibsita

En los horizontes con un contenido moderado de este mineral, el ataque ácido-base lo solubiliza prácticamente, como vimos en el caso de los andosoles con gibsita. Cuando la proporción de gibsita es muy elevada, la disolución total de este mineral no se alcanza, ni aún después de las 7 extracciones.

Este hecho se pone de manifiesto igualmente al observar las cantidades extraídas en medio ácido y medio alcalino; por ejemplo el hor. II(B) del perfil Poleo y en el perfil Las Lajas los valores correspondientes a la extracción alcalina son siempre superiores a los extraídos en medio ácido, y en las últimas extracciones las cantidades de Al extraídas son muy superiores a las de las muestras con un contenido moderado en gibsita.

Asimismo, la relación $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ nos indica la gran solubilidad de la gibsita, y en la fig. 11, las curvas $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ de los horizontes ricos en este mineral se separan netamente de las demás muestras.

Arcillas 1/1

Como indicamos anteriormente al estudiar los difractogramas de rayos X, la metahaloisita permanece prácticamente inalterada, mientras que la haloisita hidratada, o bien se solubiliza totalmente o bien se transforma parcialmente en metahaloisita.

Esta transformación puede atribuirse a que el tratamiento no ha sido suficiente para solubilizar totalmente la haloisita como habíamos visto en el trabajo anterior, lo que probablemente es debido a los porcentajes muy elevados de la fracción inferior a 2μ .

En la secuencia de suelos antes citada, considerábamos que las curvas cinéticas de Al_2O_3 , y especialmente de SiO_2 , con un máximo en la segunda extracción correspondían a la disolución de la haloisita hidratada. En esta ocasión se observa en general la misma tendencia. Los horizontes que contienen cantidades importantes de haloisita, pero que no presentan este tipo de curva son precisamente aquellos que tienen el mayor porcentaje de gibsita.

Al representar la relación $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ correspondiente a cada extracción, los horizontes con predominio de haloisita sin gibsita se agrupan entre valores de 2 y 3, lo que está de acuerdo con la relación $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ de la haloisita, teniendo en cuenta la contribución de la disolución parcial de algunos minerales primarios.

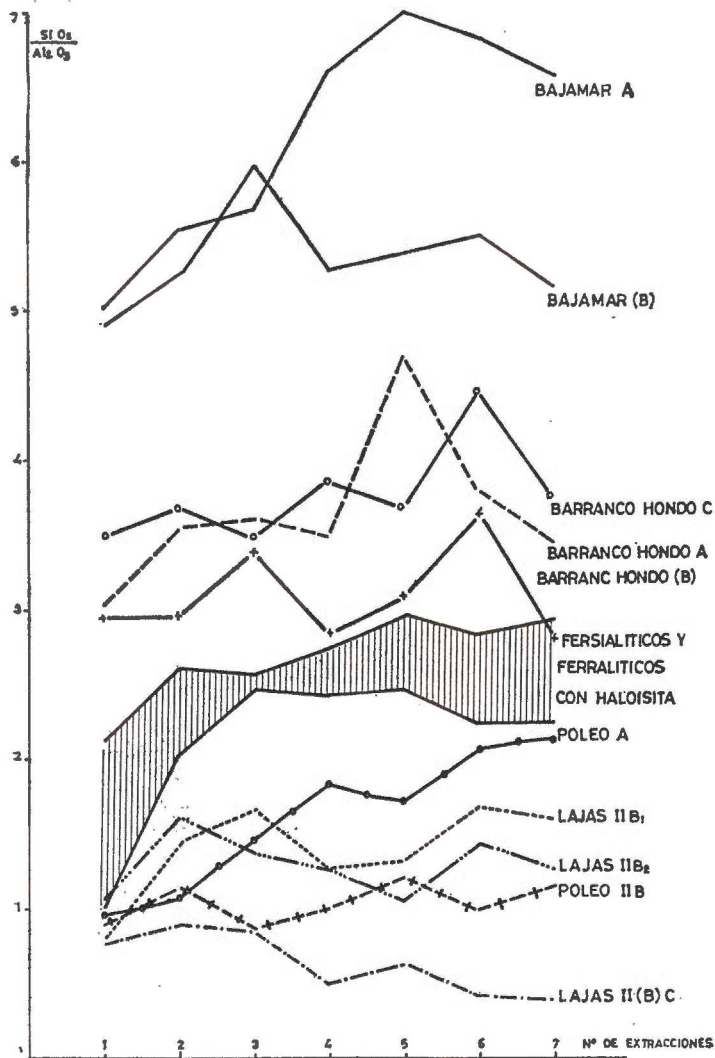


Fig. 11.

Arcillas 2/1

En el vertisol y en el suelo fersialítico con montmorillonita, observamos una gran regularidad en la disolución de SiO_2 y Al_2O_3 , puesta de manifiesto en la constancia de la pendiente de las curvas acumulativas y en los valores de velocidad de disolución.

Este tipo de curva está asociado a un producto bien cristalizado muy soluble que corresponde a la montmorillonita, como hemos podido observar en los difractogramas de rayos X.

La relación $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ en cada una de las extracciones confirma igualmente la disolución de este mineral, ya que los valores son superiores a 5 en el caso del vertisol, y oscilan entre 2,8 y 5,5 en el suelo fersialítico con haloisita y montmorillonita. Como hemos dicho anteriormente estos valores son ligeramente superiores a los correspondientes a este tipo de arcilla debido a la disolución de minerales primarios.

Fe_2O_3

El tipo de curva acumulativa, especialmente en los suelos ferralíticos, podría corresponder a formas amorfas de este elemento, sin embargo, las curvas cinéticas indican que se trata probablemente de formas criptocristalinas, debido a la disminución inicialmente muy elevada. Esta circunstancia puede explicar el que no hayamos podido seguir con exactitud por rayos X el efecto del tratamiento en los diferentes minerales de Fe. Por otra parte, ya hemos indicado la abundancia de magnetita alterada en la fracción arena, que puede contribuir notablemente a la gran disolución del Fe.

En algunos suelos, las curvas cinéticas sí parecen estar de acuerdo con las curvas acumulativas, en el sentido de que indican la presencia de productos amorfos, como es el caso de los horizontes superiores del perfil Poleo y del perfil Bco. Hondo.

En el primer caso podemos atribuirlo al carácter ándico de estos horizontes. En el caso del perfil Bco. Hondo, teniendo en cuenta sus condiciones de formación y características, es difícil que se trate de productos amorfos, por lo que podemos pensar en formas cristalinas muy solubles, probablemente hematites, muy abundantes en estos horizontes. El estudio por rayos X no nos ha permitido obtener ninguna información.

En el vertisol y horizonte C del suelo fersialítico con montmorillonita, se observa un paralelismo muy marcado entre las curvas acumulativas y cinéticas de SiO_2 , Al_2O_3 y Fe_2O_3 , lo que atribuimos de acuerdo con otros autores (Colmet Daage y col., 1973; Quantin y col., 1974) a la disolución de una smectita ferrífera (nontronita), procediendo por lo tanto el Fe de las capas octaédricas de la arcilla.

CONCLUSIONES

Aunque en principio el procedimiento ácido-base de Segalen tenía como finalidad la extracción de productos amorfos, el estudio de estas secuencias de suelos nos ha permitido comprobar, como han sugerido otros autores, que esta técnica produce la disolución selectiva de algunos minerales cristalinos. La adaptación de las curvas cinéticas a este método (Quantin y col., 1974) nos permite diferenciar no sólo entre las diferentes especies minerales, sino también entre las distintas formas de un mismo mineral.

Volvemos a observar, como en el caso de la secuencia de suelos sobre materiales recientes, la solubilidad de la haloisita hidratada frente a la

metahaloisita, sin embargo en algunos suelos de esta secuencia las 7 extracciones no son suficientes para solubilizar totalmente a la haloisita, debido a la elevada proporción de esta arcilla. De igual manera ocurre con la gibsita, que es completamente soluble cuando se encuentra en cantidad moderada, mientras que si la proporción es muy importante pueden quedar cantidades apreciables después del tratamiento.

Los suelos ricos en haloisita presentan unas curvas cinéticas de Al_2O_3 y especialmente SiO_2 , con un máximo en la segunda extracción, lo que nos hace pensar que este tipo de curva es característico de la disolución de este mineral, como ya se había indicado en el estudio de la secuencia de suelos jóvenes.

En el caso de los suelos ferralíticos ricos en gibsita, la disolución de este mineral modifica el tipo de curva anterior, sobre todo en el caso del aluminio.

La representación de la relación SiO_2/Al_2O_3 frente a las distintas extracciones, permite diferenciar cuatro zonas que corresponden a los suelos ricos en gibsita, suelos con haloisita, suelos con montmorillonita e intergradados entre estos dos últimos.

Con respecto al Fe, la dificultad de distinguir entre los minerales afectados por el tratamiento hace muy difícil la interpretación de las curvas cinéticas. En esta secuencia podemos diferenciar entre formas muy solubles, que en principio podemos atribuir a formas criptocristalinas de minerales como hematites, goethita y magnetita, y por otra parte, el Fe de constitución de smectitas ferríferas.

RESUMEN

Se estudia la disolución de Si, Al y Fe por la técnica de disolución ácido-base de Segalen en una secuencia climática de suelos volcánicos de la Isla de Tenerife (S. Ferralíticos, S. Fersialíticos y Vertisol). Se comparan los difractogramas de rayos X antes y después del tratamiento para observar el efecto de éste en los constituyentes cristalinos. En algunos casos se ha podido caracterizar la disolución de ciertos minerales, especialmente haloisita y smectita. La cinética de disolución del Fe permite diferenciar las normas «libres» y el Fe constituyente de los minerales de arcilla.

*Centro de Edafología y Biología Aplicada de Tenerife.
Universidad de La Laguna.*

BIBLIOGRAFÍA

- CABEZAS, O., FERNÁNDEZ CALDAS, E., TEJEDOR SALGUERO, M. L., HERNÁNDEZ MORENO, J. (1979). Disolución diferencial de Si, Al y Fe. I. Secuencia climática: Andosoles, Suelos pardos. *Anal. Edaf. y Agrobiol.*, XXXVIII, núm. 9-10, 1573-1589.
- COLMET DAAGE, F., GAUTEYR, J. et M., KIMPE, C. DE (1973). Etudes des sols à allophane par techniques de dissolution différentielle. *Cah. ORSTOM, Serie Pédol.*, vol. XI, núm. 2, 97-120.
- FERNÁNDEZ CALDAS, E., TEJEDOR SALGUERO, M. L., QUANTIN, P. (1978). Séquence climatique des sols anciens de la région septentrionale de Tenerife (Iles Canaries): 1^{ère} Partie: Morphologie. Caractéristiques physico-chimiques. *Cah. ORSTOM, Sér. Pédol.*, vol. XVII, núm. 1, 37-46.
- JACKSON, M. L. (1958). *Soil chemical analysis*. Prentice Hall, Inc. Englewood Cliffs. N. J., 489.
- LAMOUREUX, M., QUANTIN, P. (1973). Utilisation de courbes de vitesse de dissolution

- dans la méthode cinétique de Segalen. Cah. ORSTOM, Série Pédol., vol. XI, núm. 1, 3-14.
- QUANTIN, P., LAMOUREUX, M. (1974). Adaptation de la méthode cinétique de Segalen à la détermination des constituants minéraux des sols variés. Cah. ORSTOM, Série Pédol., vol. XII, núm. 1, 13-46.
- SEGALEN, P. (1968). Note sur une méthode de détermination des produits amorphes dans certains sols à hydroxides tropicaux. Cah. ORSTOM, Série Pédol., vol. VI, núm. 1, 105-126.
- SEGALEN, P. y col. (1972). Effet de méthodes d'extraction cinétique utilisées pour la détermination des produits ferrugineux sur quelques minéraux purs. Cah. ORSTOM, Série Pédol., vol. X, núm. 3, 251-171.
- TEJEDOR SALGUERO, M. L., QUANTIN, P., FERNÁNDEZ CALDAS, E. (1978). Séquence climatique des sols anciens de la région septentrionale de Tenerife (Iles Canaries): 2^{ème} Partie: Caractéristiques minéralogiques, interprétation et classification. Cah. ORSTOM, Sér. Pédol., vol. XVII, núm. 2, 119-127.

Recibido para publicación: 14-III-78

SUELOS FERIALITICOS SOBRE CENIZAS VOLCANICAS

I. CARACTERISTICAS MORFOLOGICAS Y FISICO-QUIMICAS

por

A. RODRIGUEZ RODRIGUEZ, M. L. TEJEDOR SALGUERO
y E. FERNANDEZ CALDAS

SUMMARY

FERSIALITIC SOILS DEVELOPED ON VOLCANIC ASH. I. MORPHOLOGICAL AND PHYSICO-CHEMICAL CHARACTERISTICS

The authors study the morphological and physico-chemical characteristics of fersiallitic soils, developed on volcanic-phonolitic ash of Canary Islands.

There are two groups of profiles. The first formed by young soils, rich in primary minerals. They show brown or red-brown hues, clayed textures and slightly developed structures. The other profiles are old soils, with red-brown or red hues, clayed textures with argillic horizon and very developed prismatic structures.

The physico-chemical characteristics are relatively homogenous in all profiles. In each profile, these properties can show great differences between the horizons due to the frequency of volcanic and colluvial materials with different chemical and mineralogical composition received by the soil at different stages.

Barranco Hondo Alto and Las Mejoranas profiles show some characteristics that differ from the other soils, as pH, base saturation, total SiO_2 , etc. We can explain these differences by the ecological conditions in the first case and the high degree of geochemical evolution in the second.

INTRODUCCIÓN

Los suelos fersialíticos que estudiamos en este trabajo corresponden a cinco perfiles. Dos situados en la planicie de Los Rodeos (Tenerife), aproximadamente a 700 m. de altitud (*Los Rodeos* y *Chacón*) y los restantes como sigue: *Barranco Hondo Alto*, en una zona de menor altitud con orientación Sureste, *Trevejos*, en la región Sur a 1.200 m. de altitud, y *Las Mejoranas* en la isla de La Palma en una región de mayor humedad, que condiciona una mayor evolución del perfil.

En la zona de Los Rodeos, han sido frecuentes las proyecciones de materiales piroclásticos, formados por cenizas y lapillis, que en casi su totalidad han sido meteorizados y transformados en suelo. En consecuencia, es común observar como en un mismo perfil aparecen varias

edafogénesis más o menos diferenciadas, dependiendo de la importancia y antigüedad del material piroclástico depositado.

Las edafogénesis más antiguas dan lugar a suelos fersialíticos evolucionados con horizonte argílico que han quedado sepultados por los materiales piroclásticos que originan suelos fersialíticos más jóvenes, menos evolucionados y sin horizonte argílico.

Las condiciones climáticas han sido definidas en un trabajo anterior (A. Rodríguez et al., 1978) y consisten esencialmente en un régimen ústico para los perfiles Los Rodeos, Chacón y Las Mejoranas y xérico para Barranco Hondo Alto y Trevejos.

El material originario está constituido por cenizas fonolíticas con algunas contaminaciones basálticas en los perfiles Los Rodeos y Chacón, escorias basálticas en Barranco Hondo Alto, lapillis basálticos con un alto contenido en vidrios en Las Mejoranas y un coluvión de origen fonolítico en el perfil Trevejos.

La vegetación natural ha sido degradada en la mayoría de los casos y todos los suelos se encuentran aterrizados y antropizados.

TÉCNICAS EXPERIMENTALES

El contenido en carbono total se determinó con dicromato potásico en medio sulfúrico (A. Walkley et al., 1935). El contenido en nitrógeno total se determinó siguiendo el método Kjeldahl.

El pH se midió en suspensión acuosa (1:2,5) y en cloruro potásico (1:2,5).

Los cationes cambiables se determinaron con acetato amónico 1 N a pH 7 (C. A. Bower et al., 1952). La capacidad total de cambio se determinó con acetato sódico 1 N a pH 8,2.

Para el análisis granulométrico, el procedimiento seguido fue el de V. J. Kilmer et al., 1949, mediante el uso de la pipeta Robinson, previa dispersión con hexametáfosfato sódico.

La extracción de los óxidos de hierro libre se hizo por el sistema buffer ditionito-citrato-bicarbonato sódico (F. Mehra et al., 1960). En algunas muestras (Las Mejoranas) se ha utilizado el método de Ségalen (P. Ségalen, 1968) mediante extracciones sucesivas con ácido clorhídrico 8 N.

El análisis químico total de las muestras se ha realizado mediante la técnica del ataque $\text{FH}/\text{NO}_3\text{H}$ en un reactor a presión (L. Ximénez Herráiz, 1975).

CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS

En la morfología de estos suelos podemos destacar dos grupos de perfiles. Por un lado, Trevejos y Los Rodeos, con un color pardorrojizo o pardo (5 YR, 7,5 YR), una textura arcillosa sin formación de horizonte argílico y una estructura poco definida y poco desarrollada, generalmente poliédrica o prismática fina.

En los restantes perfiles, más evolucionados, el color es rojo (2,5 YR) y más raramente pardo-rojizo (5 YR), la textura es siempre pesada y arcillosa con formación de un horizonte argílico y la estructura prismática bien desarrollada.

CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS

Materia orgánica

El contenido en materia orgánica es siempre muy bajo, como corresponde a suelos que soportan una escasa vegetación y están sometidos a una fuerte erosión. Para el caso de los perfiles enterrados (Chacón), estos valores son prácticamente despreciables (menores del 1 por 100) y constantes al profundizar en el perfil, mientras que para los suelos en superficie se observa una disminución brusca al pasar del horizonte superior al inmediato inferior, manteniéndose luego prácticamente constante con la profundidad.

La relación C/N presenta unos valores muy variables, normalmente comprendidos entre 4 y 11, con una tendencia general a aumentar con la profundidad. Estos valores tan bajos, hay que tomarlos con cierta reserva, ya que han sido suelos cultivados y probablemente han estado sometidos a aportes de abonos nitrogenados que falsean la relación.

Complejo absorbente

El contenido total en bases cambiables oscila entre 25,2 y 36,9 meq/100 grs. para el perfil Barranco Hondo Alto y entre 9,4 y 19,1 meq/100 grs. para los restantes perfiles.

Estos valores más elevados en el primer caso, se deben a la situación de este perfil en una zona más xérica y a una mayor influencia del lavado lateral. En el caso del perfil Trevejos, los valores no son tan elevados, a pesar de encontrarse en una zona xérica, debido a la influencia del material de origen.

El valor tan bajo (9,4 meq/100 grs.) que se observa en el horizonte II BC_gb del perfil Chacón se debe a la menor alteración de este horizonte con gran abundancia de minerales primarios alterables, principalmente sanidina.

Entre los cationes saturantes del complejo de cambio, predominan los divalentes calcio y magnesio, en cantidades muy superiores a las de los monovalentes.

El contenido en calcio cambiable oscila entre 3,7 y 18,8 meq/100 gramos (fig. 1), apareciendo los valores más elevados en el perfil Trevejos y sobre todo Barranco Hondo Alto, dadas sus condiciones climáticas y topográficas, mientras que los valores más bajos aparecen en el perfil Las Mejoranas, situado en la zona más húmeda y presentando el grado más avanzado de alteración y evolución.

TABLA I
Descripción morfológica

Perfil TREVEJOS Arona (T E N E R I F E)	Situación.—En la carretera de La Escalona, entre Arona y Vilaflor. Altitud.—1.200-1.300 m. Orientación.—Sur. Pendiente.—Menor del 5 ‰. Roca madre.—Coluvión fonolítico de varios metros de espesor y fragmentos de basalto. Vegetación.—Terraza cultivada.						
Horizonte (profundidad)	Color	Elementos gruesos	Textura	Estructura	Consistencia	Raíces	Transición
Ap (0-25 cms.)	Seco 7.5 YR 4/4 (pardo a pardo oscuro)	Gravas de piedra pómez colocadas artificialmente (self-mulching)	Arcillo arenosa	Granular fina y media		Muchas de todos los tamaños	Neta y regular
B (25-80 cms.)	Seco 5 YR 3/4 (pardo rojizo oscuro)	Algunos. Presencia de minerales prima- rios alterables	Arcillo arenosa	Prismática que se resuelve en poliédrica gruesa, grietas finas	Cohesión fuerte	Alguna	
BC (80-130 cms.)	Seco 7.5 YR 4/3 (pardo a pardo oscuro)	Muchas gravas y pequeñas piedras	Limosa	Masiva con algunas grietas finas		Muy pocas y siempre muy finas	

Observaciones.—El perfil Trevejos, situado en la vertiente Sur de la isla, en una zona con una precipitación anual aproximada de 400 mm., corresponde a un escalón intermedio entre los suelos pardos modales y los vertisoles, y presenta una morfología característica de un suelo fersialítico, aunque el color es menos intenso que en los suelos del mismo tipo situados en la región Norte, donde la pluvimetría es más elevada.

Se trata de un perfil de tipo A, B, BC situado en una cuenca aluvial y donde prácticamente no hay pendiente (menor del 5 por 100). El horizonte superficial está sometido a cultivos intensivos, muy antropizado y ha sido mezclado artificialmente con diferentes materiales (principalmente piedra pómez) para evitar la evaporación en este suelo cultivado y situado en una zona xérica (fenómeno de self-mulching),

TABLA II

Descripción morfológica

Perfil BARRANCO HONDO ALTO Barranco Hondo (TENERIFE)		<i>Situación.</i> —Pista que va de Las Raíces a Barranco Hondo, cerca de un pequeño cono volcánico reciente. <i>Altitud.</i> —625 m. <i>Orientación.</i> —S. E. <i>Pendiente.</i> —Acusada. <i>Roca madre.</i> —Lava basáltica y capas de cenizas y lapillis basálticos. <i>Vegetación.</i> —Kleinio-Euphorbion.					
Horizonte (profundidad)	Color	Elementos gruesos	Textura	Estructura	Porosidad	Cohesión	Raíces
Ap (0-15 cms.)	Seco 5 YR 4/5 Húmedo 5 YR 3/3		Arcillo arenosa	Poliédrica redondeada gruesa y media	Grietas me- nores de 1 cm. Fuerte porosidad	Muy fuerte Algo friable	Algunas
B (15-40 cms.)	Seco 5 YR 3/3.5 Húmedo 2.5 YR 3/5		Arcillosa	Prismática a cúbica media ó poliédrica gruesa	Algunas grietas menores de 4 cm.	Muy fuerte. Ni plástico ni friable	Pocas en las fisuras
IBC (40-50 cms.)		TRANSICION RAPIDA CON EL HOR. C					
IC (50-100 cms.)	Seco 10 YR 4/3.5	Roca muy alterada. Gravoso hasta los 65-70 cms. Luego se hace duro	Arcillo arenosa	Roca alterada con una capa arcillosa			

Observaciones.—La orientación sureste en que se encuentra este perfil, condiciona un clima algo más árido y contrastado que el general de la zona. La vegetación es de tipo *Kleinio-Euphorbion*. La intensa erosión ha dejado solamente algunos depósitos de suelo entre la lava y las escorias basálticas alteradas.

Su morfología, con un perfil de tipo A, B, BC, y la estructura en el horizonte B con caras ligeramente inclinadas y finamente estriadas, es característica de los suelos ferrialíticos con carácter vértico, aunque de muy poco espesor debido a la intensa erosión de la zona.

TABLA III
Descripción morfológica

Perfil LOS RODEOS La Laguna (T E N E R I F E)		<i>Situación.</i> —Carretera Aeropuerto, Campo de Golf. Desmonte de la nueva autopista. <i>Altitud.</i> —600 m. <i>Orientación.</i> —S. E. <i>Pendiente.</i> —Escasa. <i>Roca madre.</i> —Proyecciones y coluvios de materiales volcánicos piroclásticos basálticos y fonolíticos. <i>Vegetación.</i> —Aterrazado. Pastizal de gramíneas y algún matorral de zarzas.							
Horizonte (profundidad)	Color	Manchas	M. O.	Elementos gruesos	Textura	Estructura	Porosidad	Consisten- cia	Raíces
Ap (0-20 cms.)	Húmedo 7.5 YR 4/4 Seco 5 YR 3/4	Homogéneo	Aparen- temente no orgánico	Ausencia	Limo arcil- lo arenosa	Aparentemente masiva casi con- tinua que se re- suelve en poliédrica gruesa y finalmente en grumosa fina	Grietas entre los agregados poliédricos y porosidad abundante entre los agregados	Fuerte	Finas bas- tante abun- dantes que se extienden por todo el horizonte
BA (20-40 cms.)	Húmedo 7.5 YR 3/2 Seco 5 YR 3/4	Zonas más claras de color 5 YR 3.5/3		Ausencia	Limo arcil- losa a arcil- lo limosa	Masiva (con apa- rición de grandes grietas verticales) que se resuelve en poliédrica menos desarro- llada que en Ap	Comparable a la del hor. Ap	Media	Menos abun- dantes que en Ap

B ₁ (40-70 cms.)	Húmedo 7.5 YR 3/2 Seco 5 YR 3/4	Las manchas 5 YR 3.5/3 se hacen ma- yores y vi- sibles				Las grietas alcan- zan un mayor desarrollo			
BC (70-150 cms.)	Húmedo 7.5 YR 4/4 Seco 5 YR 3/4	Manchas de hasta 50 cms. unas claras (7.5 YR 5/5) y otras más oscuras (7.5 YR 3/1)	Presencia de nódulos de carbón	Gran cantidad de minerales blancos y pequeños	Arcillo limosa a arcillosa	Prismática gruesa con tendencia a poliédrica gruesa. Revest. 5 YR 3/2.5 ocupando un 20- 30 % del volumen de los agredados	Mediocre a través de las grietas	Muy rígida	No hay

Observaciones.—Este perfil ha sido originado por una edafogénesis reciente que afectó a la capa de material piroclástico que sepultó el suelo subyacente. Esta capa de piroclastos aparece completamente meteorizada, excepto algunas bolsas, y se pone de manifiesto, por la presencia hacia los 150 cms., de una textura más arenosa y de fragmentos de cenizas en alteración. Hemos de considerar a este suelo como formado a partir de esta capa de cenizas, mediante una alteración in situ de tipo tropical, favorecida por el clima contrastado de la zona. La presencia de grietas verticales indican que el perfil tiene algunos caracteres vérticos en profundidad.

TABLA IV
Descripción morfológica

Perfil CHACÓN La Laguna (TENERIFE)		<i>Situación.</i> —En el Km. 4 de la carretera dorsal del Teide, entre las montañas de Chacón y Barro Hornillo. <i>Altitud.</i> —715 m. <i>Orientación.</i> —Norte. <i>Pendiente.</i> —Suavemente inclinado. <i>Roca madre.</i> —Fonolita alterada y sedimentada y otros materiales volcánicos, como escorias y cenizas fonolíticas. <i>Vegetación.</i> —Suelo enterrado.						
Horizonte (profundidad)	Color	Manchas	Elementos gruesos	Textura	Estructura	Porosidad	Consistencia	Transición
II _B ₂ <i>b</i> (230-370 cms.)	Húmedo 5 YR 4/4 Seco 5 YR 4/5	Lenguas arenosas de color 7.5 YR 5/7 con aureola 5 YR 6/4	Algunos granos de feldespatos escasos y muy alterados	Arcillosa	Prismática muy de- sarrollada con gran- des manganos que penetran dentro de los prismas. Super- ficies brillantes	Muy eompacto	Rígida y muy fuerte	Gradual
II _B ₃ <i>b</i> (370-420 cms)	Húmedo 7.5 YR 5/6 Seco 7.5 YR 6.5/4	Hidromorfo y abiga- rrado		Arcillosa	Desarrollada, colum- nar y poliédrica			
II (BC) _g <i>b</i> (420 500 cms.)	Húmedo 7.5 YR 7/2 Seco 7.5 YR 5.5/4	Manchas de 1 cm. de color 7.5 YR 6/8	Muchos granos blan- cos de minerales alterados	Arcillosa	Tipicamente vértica con abundantes sli- ckensides. La super- ficie de los agregados tiene color negro céreo típico	Horizonte típicamente hidromorfo	Densa y muy fuerte	
II C <i>b</i> (+ 500 cms.)	Abigarrado		Olivinos y augitas abundantes		Fonolita alteradísi- ma, estructura en bloques con algunos cutanes de infiltra- ción		Consistente	

Observaciones.—El perfil se encuentra en una pequeña cuenca de relleno en la base de tres colinas donde existieron condiciones locales de pseudogley o hidromorfía. Suelo profundo, típicamente fersialítico de tipo pseudogley, abigarrado y con manganos.

TABLA V

Descripción morfológica

Horizonte (profundidad)	Color	Textura	Estructura
Perfil LAS MEJORANAS Puntallana (L A P A L M A)	<i>Situación.</i> —Cerca del cementerio de Puntallana. <i>Altitud.</i> —430 m. <i>Orientación.</i> —Este. <i>Roca madre.</i> —Lapillis y escorias basálticos muy antiguos. <i>Vegetación.</i> —Aterrazado para cultivos de secano.		
A_p (0-15 cms.)	Pardo 7.5 YR 3/2	Areno limosa con un poco de arcilla	Poliédrica fina
BA (15-35 cms.)	Pardo-rojizo típico 5 YR 4/4	Arcillo arenosa	Prismática cúbica. Algunos revestimien- tos negros de manga- neso
B₁ (35-60 cms.)	Pardo rojizo claro 5 YR 5/4	Arcillo arenosa	Prismática cúbica. Los prismas cúbicos son más pequeños que en BA
BC (60 — + 300 cms.)			Prismática en la que alternan los trozos de basalto alterado con las infiltraciones de arcilla

Observaciones.—En la parte más profunda del perfil aparecen tenues revestimientos negros de manganeso, indicadores de una hidromorfía muy poco acentuada.

Un retículo blanco rosáceo en el seno del horizonte B de textura más arenosa que el resto del horizonte, evidencia su degradación, por migración de las arcillas desligadas del hierro (iluvitación secundaria).

El contenido en magnesio cambiabile oscila entre 2,7 y 14,5 meq/100 grs., apareciendo los valores más elevados en el perfil Barranco Hondo Alto (fig. 1). El perfil Las Mejoranas presenta un contenido en magnesio superior al del calcio en la mayoría de los horizontes, a pesar de su intensa alteración y lixiviación, lo que podemos atribuir a un elevado contenido en su material de origen, de vidrio volcánico rico en magnesio (G. Tercinier et al., 1968).

El contenido en sodio de cambio oscila entre 0,5 y 4,3 meq/100 grs., con una tendencia global a aumentar con la profundidad. El potasio

cambiable varía entre 0,2 y 3,4 meq/100 grs. y como en el caso del sodio, el valor más alto aparece en el horizonte II B₃b del perfil Chacón, que tiene un alto porcentaje de sanidina en alteración.

De una manera general, el orden de concentración de cationes cambiables puede establecerse así:

Calcio > Magnesio > Sodio > Potasio.

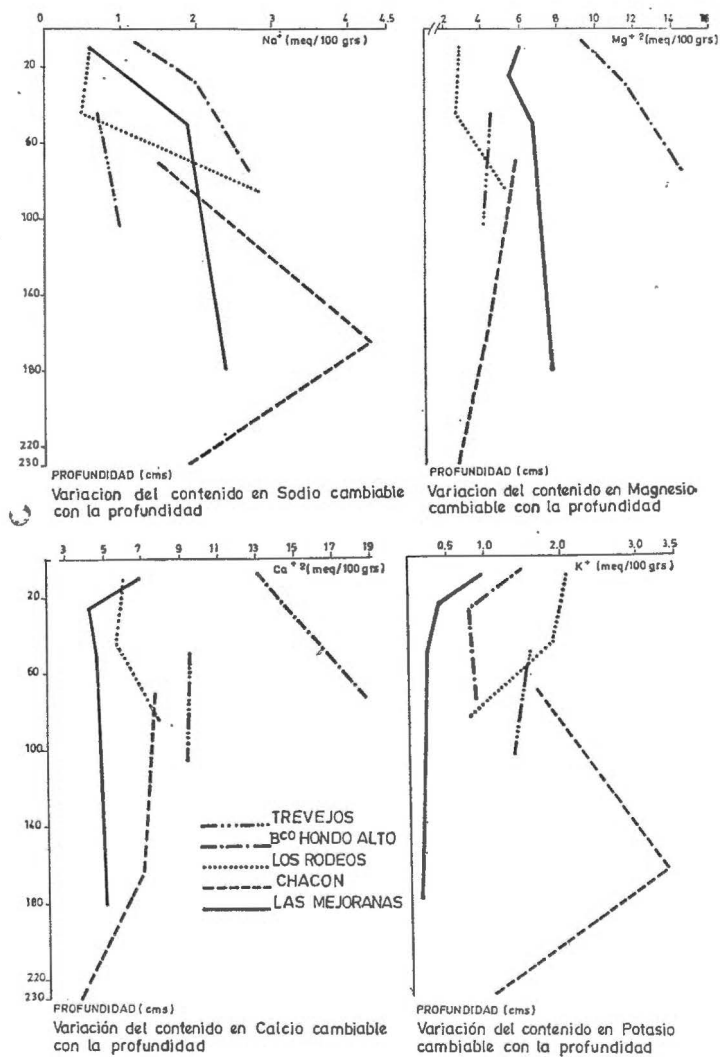


Fig. 1.

La capacidad de cambio varía entre 18 y 41 meq/100 grs. (fig. 2), aunque por lo general está comprendida entre 20 y 30 meq/100 grs.,

valores que se corresponden bastante bien con la naturaleza mineralógica de la fracción arcilla, formada por una mezcla de haloisita e illita.

Como se observa en la fig. 2, la variación de la capacidad de cambio con la profundidad es muy irregular en todos los perfiles, lo cual se debe a la existencia de rejuvenecimientos y discontinuidades mineralógicas en todos estos suelos. El valor más elevado aparece en el horizonte profundo del perfil Barranco Hondo Alto con un predominio de montmorillonita en su fracción arcilla y los valores más bajos en los horizontes profundos de Trevejos y Chacón con una dominancia de illita en la fracción menor de 2μ .

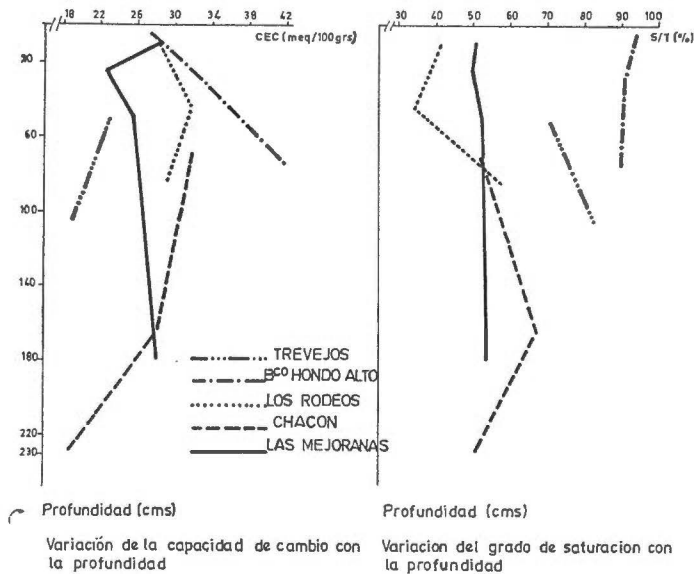


Fig. 2.

En lo que se refiere al grado de saturación se observan dos tendencias diferentes en estos suelos (fig. 2). Por un lado los perfiles Barranco Hondo Alto y Trevejos con un porcentaje de saturación superior al 60 por 100, dadas sus especiales condiciones ecológicas, y por otro los restantes suelos, cuyo porcentaje está comprendido entre el 40 y el 60 por 100, excepto en el hor. II B₃b del perfil Chacón, donde aparece un valor muy alto (68 por 100) debido a una gran abundancia de sanidina en alteración que origina un aumento considerable de los cationes monovalentes.

pH de los suelos

En estos suelos, el pH oscila entre 5,2 y 7,5, manteniéndose por lo general entre 6,0 y 7,0, excepto en el perfil Barranco Hondo Alto, con valores superiores a 7,0, sobre todo en profundidad. La variación:

del pH con la profundidad es muy irregular, como pasa con todos los componentes del complejo absorbente, pero en general sigue una tendencia semejante a la de los cationes divalentes (fig. 3).

La diferencia entre los valores de pH en agua y en cloruro potásico son superiores a la unidad, lo que indica un predominio de minerales arcillosos cristalizados. Se exceptúa el horizonte A_p del perfil Los Rodeos, debido a contaminaciones ácidas en superficie.

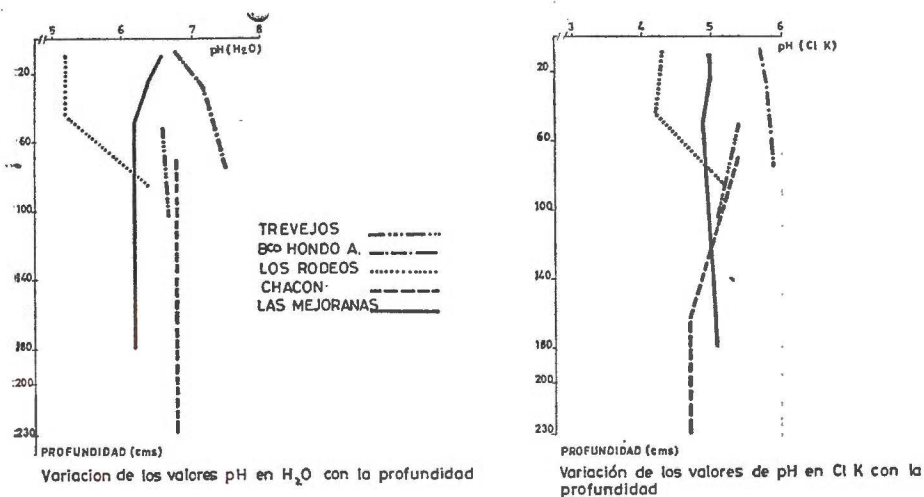


Fig. 3.

Análisis químico total

En lo que se refiere al material de origen, es muy difícil su apreciación, teniendo en cuenta la superposición frecuente de suelos y la variabilidad de los materiales que corresponden a diferentes erupciones volcánicas. Sin embargo, tanto por apreciaciones morfológicas directamente en el campo, como por el análisis químico total de la totalidad del suelo, se nos pone de manifiesto la existencia de dos materiales de composición química diferente.

Por un lado, los perfiles Trevejos, Los Rodeos y Chacón, con un contenido en sílice total oscilando entre 45-58 por 100, de Fe₂O₃ entre 5-14 por 100, de TiO₂ de 2,6 por 100 y de CaO y MgO entre 0,6-2,6 por 100, así como de Na₂O y K₂O variando entre 0,8-4,2 por 100, presentan un material originario constituido predominantemente por piroclastos fonolíticos con algunas contaminaciones basálticas.

Por otra parte, los perfiles Barranco Hondo Alto y Las Mejoranas, tienen un menor contenido en SiO₂ (31-45 por 100), Na₂O-K₂O (0,3-1,0 por 100) y mayor proporción de Fe₂O₃ (13-23 por 100), TiO₂ (8-15 por 100) y CaO-MgO (1,0-3,0 por 100), lo que indica la naturaleza bastante menos ácida del material de origen.

La distribución de la sílice total al profundizar en el perfil (fig. 4) es irregular y viene condicionada sobre todo por el grado de alteración del material de origen y por la importancia de los rejuveneci-

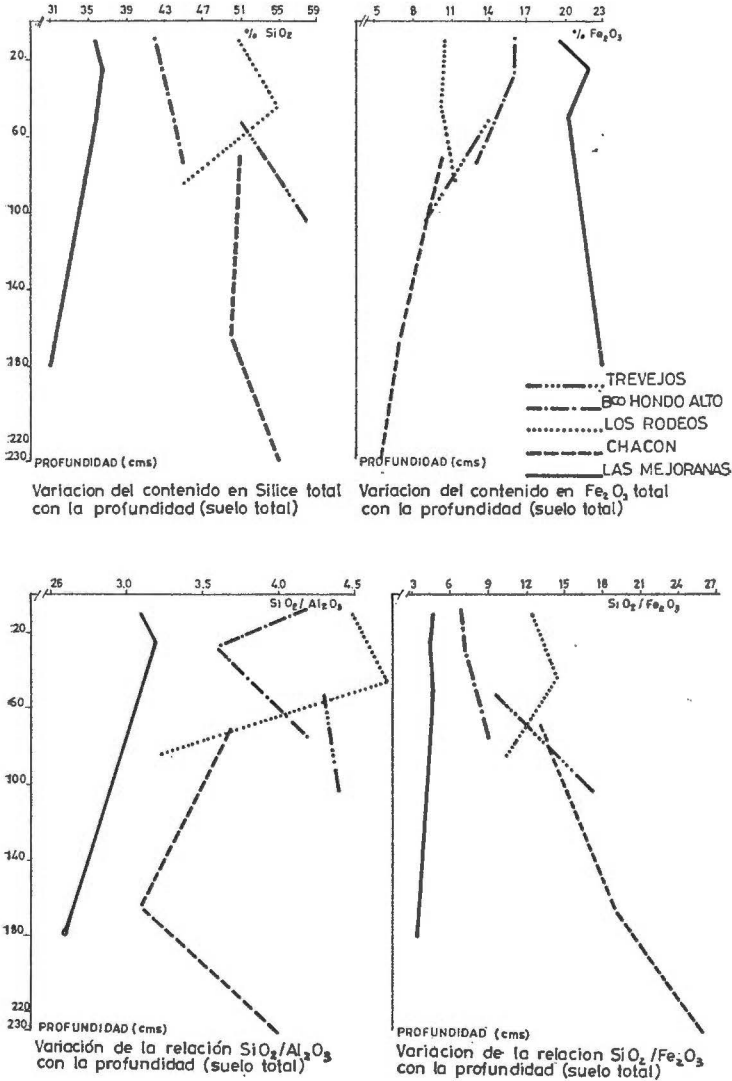


Fig. 4.

mientos coluviales o volcánicos. La tendencia general es a aumentar hacia los horizontes profundos, excepto en Los Rodeos y Las Mejoranas, debidos en el primer caso a rejuvenecimientos coluviales en el

horizonte superficial y en el caso de Las Mejoranas a una intensa alteración de los lapillis basálticos en el hor. BC.

La curva de distribución del Fe_2O_3 total con la profundidad es asimismo irregular y sigue una tendencia opuesta a la de la sílice.

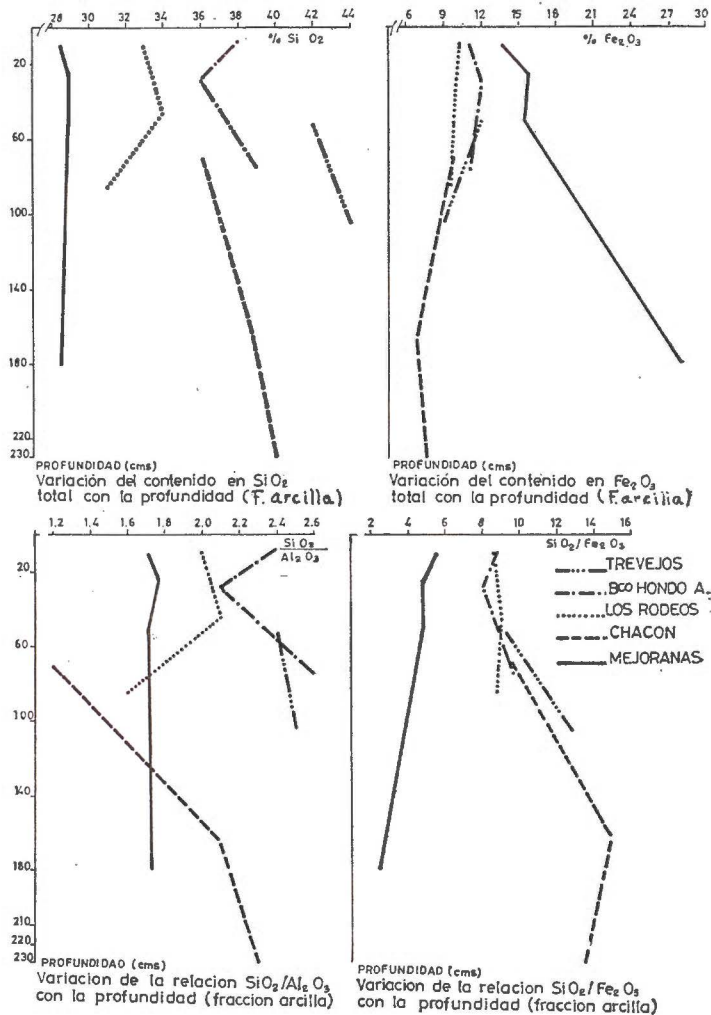


Fig. 5.

Los valores de la relación $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ en el suelo total (2,5-5,0) son indicativos de una composición mineralógica definida, ya que existen aún minerales primarios ricos en sílice (sanidina y cuarzo eólico principalmente) en el perfil. La tendencia de esta relación con la profundidad es semejante a la de la sílice total.

Una tendencia semejante sigue la curva de la relación $\text{SiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$. Estos valores oscilan entre 3 y 27, observándose los más elevados en los niveles fonolíticos poco alterados (Trevejos, Los Rodeos, Chacón).

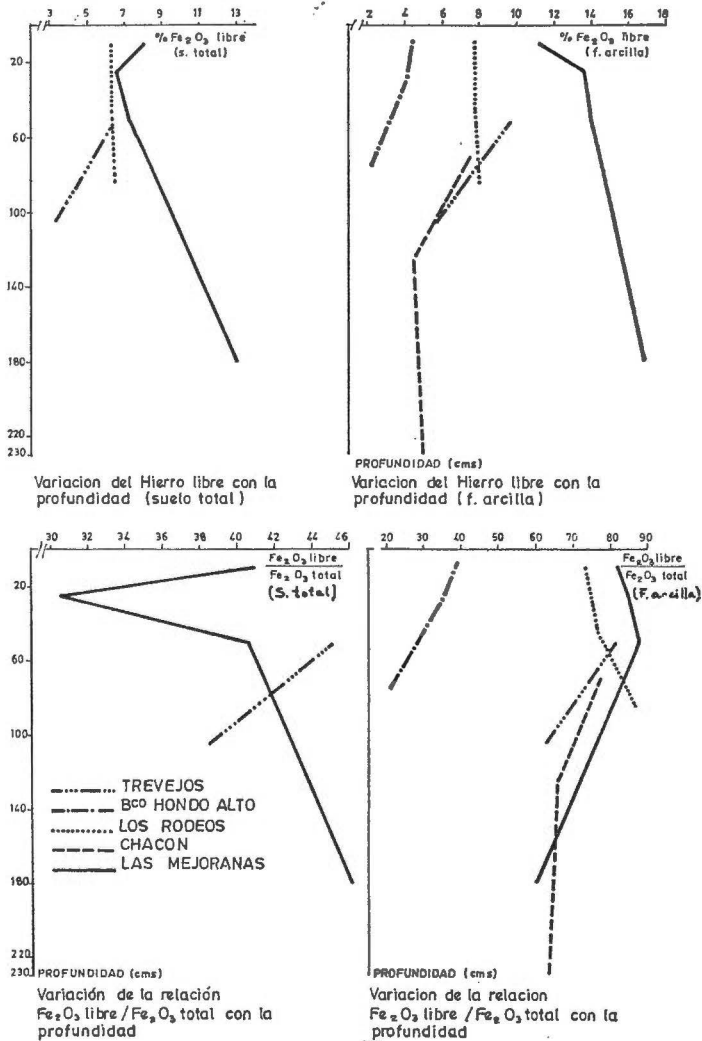


Fig. 6.

Al pasar a la fracción arcilla (fig. 5), se observa una disminución acusada del contenido en SiO_2 , Na_2O y K_2O , con respecto a los valores encontrados en el suelo total. Esta disminución es más acusada para el caso de los perfiles sobre materiales fonolíticos, con mayor proporción de minerales ricos en estos elementos (principalmente sanidina).

El TiO_2 sufre un ligero aumento debido a un aumento relativo y a una acumulación en el perfil, dada la escasa movilidad de este elemento en el suelo.

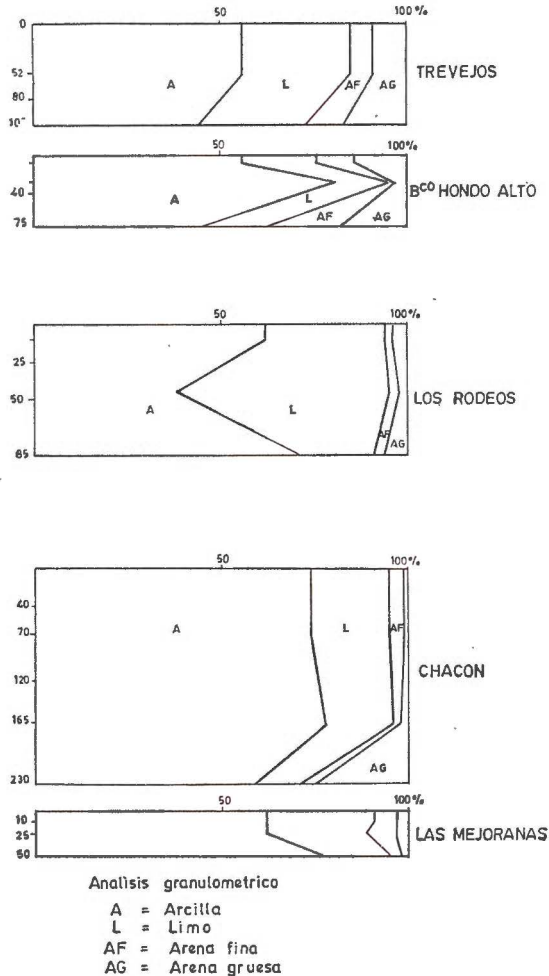


Fig. 7.

En cuanto al Fe_2O_3 , los valores se mantienen debido a la presencia en todos estos suelos de minerales ferríferos secundarios en la fracción arcilla.

Los valores de la relación SiO_2/Al_2O_3 en la fracción arcilla (1,2-2,6) se mantienen inferiores a 2, excepto en los perfiles Barranco Hondo Alto y Trevejos, el horizonte BA de Los Rodeos y los horizontes profundos de Chacón, debiéndose en el primer caso a un predominio de arcillas montmorilloníticas y en los restantes, este aumento en la rela-

ción $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, se corresponde con un mayor porcentaje de arcillas de tipo ilita.

Hierro libre

El porcentaje de hierro libre en el suelo total (2,5-13,0 por 100) sigue una variación con la profundidad semejante a la del Fe_2O_3 total (fig. 6).

El valor más elevado aparece en el hor. BC del perfil Las Mejoranas, que es el que muestra la mayor evolución geoquímica, como se deduce de todos los datos anteriores.

En la fracción arcilla, el contenido en hierro libre (en porcentajes de muestra seca a 105°C) es mayor que en el suelo total (2,2-16,9 por 100) como consecuencia de que la mayor parte del hierro libre aparece en esta fracción granulométrica. Esto no quiere decir que el hierro esté siempre ligado a la arcilla, ya que el método empleado puede extraer formas criptocrystalinas de hierro y además se ha podido apreciar micromorfológicamente ferriargilanes y argilanes amarillos alternados en los revestimientos.

Su distribución a lo largo del perfil es semejante a la del suelo total, excepto para el hor. BA de Las Mejoranas, lo que parece estar en relación con el contenido en arcillas.

La relación hierro libre/hierro total en el suelo total alcanza valores comprendidos entre el 31 y 62 por 100. En la fracción arcilla, los porcentajes de liberación de hierro son superiores (60-90 por 100), dada la casi ausencia de minerales primarios que contengan este elemento.

Análisis granulométrico

Por un lado se diferencian los perfiles Trevejos, y Los Rodeos con más porcentajes de arcilla comprendidos entre el 50 y el 70 por 100 y un contenido elevado en limos (30 por 100) (fig. 7). Se ha considerado que ambos perfiles carecen de horizonte argílico, ya que se observa una ausencia total de arcilla iluvial y los índices de arrastre de arcillas, aunque de muy difícil aplicación dado el frecuente carácter alóctono de los horizontes superiores son siempre inferiores a 1,4.

En los restantes perfiles los porcentajes de arcilla son más elevados (superiores al 70 por 100) a expensas de una disminución en la fracción limo, presentándose siempre un horizonte argílico y un vientre de arcillas bien patente, situado más o menos profundamente en el perfil.

RESUMEN

Los autores estudian las características morfológicas y químicas de los suelos ferrosialíticos desarrollados sobre cenizas volcánicas de tendencia fonolítica en las Islas Canarias.

Se identifican dos grupos de perfiles, unos pocos evolucionados, con abundancia de minerales primarios, color pardo o pardo-rojizo, textura arcillosa y estructura poco desarrollada. Otros perfiles son más evolucionados, con colores pardo-rojizos o rojos,

texturas arcillosas pesadas con presencia de un horizonte argílico y estructura prismática muy desarrollada.

Las características físico-químicas son relativamente homogéneas entre los distintos perfiles. Dentro de un mismo perfil estos valores varían mucho entre los diferentes horizontes, dada la frecuencia de rejuvenecimientos coluviales o volcánicos de naturaleza química variada. Los perfiles Barranco Hondo Alto y Las Mejoranas se apartan del resto en algunas características, como pH, grado de saturación de bases, sílice total, etcétera, debido en el primer caso a unas condiciones ecológicas particulares y en el segundo a un grado avanzado de evolución geoquímica.

Se dan determinaciones de materia orgánica, pH, bases cambiables, capacidad de cambio, bases totales, hierro libre, análisis total y granulometría.

Centro de Edafología y Biología Aplicada de Tenerife.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) BOWER, C. A., RETEMEIER, R. F. and FIREMAN, M. (1952). Exchangeable cation analysis of saline and alkali soils. *Soil Sci.*, **73**, 251-261.
- (2) KILMER, V. J. and ALEIXANDRE, L. J. (1949). Methods of making mechanical analysis of soils. *Soil Sci.*, **68**, 15-24.
- (3) MEHRA, O. F. and JACKSON, M. L. (1960). Iron oxides removal from soils and clays by dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. *Clays and clay minerals*, **7**, 317-327.
- (4) PEDRO, G. (1968). Notes sur le type d'altération superficielle caractérisant les projections volcaniques récents du Puy de la Vache (Masiff Central). Conséquences géochimiques. *Bull. Ass. Fr. Et. Sol.*, **3**, 17-20.
- (5) RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ, A., TEJEDOR, M. L. y FERNÁNDEZ-CALDAS, E. (1979). Características generales de los suelos fersialíticos de las Islas Canarias. *Anales de Edaf. y Agrob.*, XXXVIII, 1121.
- (6) SÉGALEN, P. (1968). Note sur une méthode de détermination des produits minéraux amorphes dans certaines sols à hydroxydes tropicaux. *Cah. ORSTOM, Sér. Pédol.*, VI, 1, 105-126.
- (7) TERCINIER, G. et QUANTIN, P. (1968). Influence de l'altération de cendres et ponces volcaniques d'âge récent sur la nature, les propriétés et la fertilité des sols aux Nouvelles-Hébrides. *Cah. ORSTOM, Sér. Pédol.*, VI, 2, 203-224.
- (8) WALKLEY, A. and BLACK, I. A. (1935). An examination of a rapid method for determining organic carbon and nitrogen in soils. *Jour. Agr. Sci.*, **25**, 598-609.
- (9) XIMÉNEZ HERRÁIZ, L. (1975). Disolución rápida de muestras con un reactor a presión. *Afinidad*, XXXII (326), 391-394.

Recibido para publicación: 11-IV-78

SUELOS FERSIALITICOS SOBRE CENIZAS VOLCANICAS

II. CARACTERISTICAS MINERALOGICAS

por

A. RODRIGUEZ RODRIGUEZ, M. L. TEJEDOR SALGUERO
y E. FERNANDEZ CALDAS

SUMMARY

FERSIALITIC SOILS DEVELOPED ON VOLCANIC ASH. II. MINERALOGICAL CHARACTERISTICS

The mineralogy of coarse and fine fractions of fersiallitic soils developed on volcanic-phonolitic ash, is studied.

In the coarse fraction of the younger soils without argillic horizon, pyroxenes (augite) and amphiboles (hornblende) predominate. Olivines and micas are also present in lower quantities.

In the evolutionated soils with argillic horizon, the coarse fraction show a high weathering degree. Iron oxides and hydroxydes predominate. At the phonolitic levels, micas are present and traces of pyroxenes, amphiboles, titanite, etc.

In the clay fraction, there is a mixture of 1:1 (halloysite-metahalloysite, sometimes kaolinite) and 2:1 (open illite and montmorillonite) clay minerals. The ecological conditions and nature of parent material determine the prevailing kind of clay minerals.

INTRODUCCIÓN

Como se ha señalado en un trabajo anterior (A. Rodríguez et al., 1978), en los suelos fersialíticos desarrollados sobre cenizas volcánicas fonolíticas existen dos grupos diferenciados en lo que se refiere a la evolución morfológica y presencia de un horizonte argílico (Barranco Hondo Alto, Chacón y Las Mejoranas), o de un horizonte cámbico estructural (Trevejos y Los Rodeos).

El material de origen es fonolítico (Trevejos, Los Rodeos y Chacón), a veces con mayor o menor proporción de material básico (Barranco Hondo Alto y Las Mejoranas).

El pH está próximo a la neutralidad y el porcentaje de saturación alrededor del 50 por 100, excepto en el perfil Barranco Hondo Alto, donde dadas las especiales condiciones ecológicas, el pH es superior a 7 y el grado de saturación superior al 80 por 100.

El perfil Las Mejoranas es el que muestra una mayor evolución y alteración, con una pérdida acusada de sílice y acumulación de hierro y titanio.

TÉCNICAS EXPERIMENTALES

Para el estudio microscópico de la fracción arena se ha seguido la técnica de T. Aleixandre et al., 1968.

La fracción arena se separa en dos partes, una fracción ligera (p. e. $< 2,9$) y otra fracción densa (p. e. $> 2,9$). Esta última se monta directamente en un portaobjetos con bálsamo de Canadá, mientras que la fracción ligera se tinte primeramente con cobaltinitrito sódico y hemateína y luego se monta en una mezcla de clorobenzol y nitrobenzol.

La fracción arcilla se estudió mediante difracción de rayos X (difractómetro Philips PW 1010), eliminando previamente materia orgánica y geles amorfos, y en algunos casos por espectroscopía de absorción infrarroja (A. Hidalgo et al., 1955) (espectrofotómetro Perkin-Elmer modelo 225 de doble haz) y microscopía electrónica (Philips ME 300).

MINERALOGÍA DE LA FRACCIÓN ARENA (tabla I)

El estudio mineralógico de la fracción arena de estos suelos nos permite separar por un lado los perfiles menos evolucionados sin horizonte argílico (Trevejos y Los Rodeos) y por otro los suelos más evolucionados provistos de horizonte argílico (Barranco Hondo Alto, Chacón y Las Mejoranas).

Entre los minerales transparentes de la fracción densa, en el primer caso, el más abundante es la hornblenda basáltica, existiendo además augita, titanita, olivino y micas.

Entre los minerales opacos predominan los opacos naturales (magnetita e ilmenita).

En los suelos más evolucionados se pone de manifiesto siempre una intensa alteración y riqueza en óxidos de hierro, lo que la mayoría de las veces impidió el conteo de las restantes especies minerales.

En estos suelos es de destacar una casi ausencia de minerales transparentes, que casi siempre aparecen al estado de trazas, siendo entonces la magnetita y la ilmenita los minerales dominantes.

Sólo las micas (biotita) aparecen en proporciones significativas (excepto en los perfiles Barranco Hondo Alto y Las Mejoranas, desarrollados sobre materiales predominantemente basálticos), a veces muy abundantes, sobre todo en los horizontes de alteración de cenizas fonolíticas (Chacón).

En la fracción ligera los minerales más importantes, en el caso de los perfiles Trevejos y Los Rodeos, son los feldspatos, que constituyen más de la mitad de esta fracción sobre todo en Trevejos. En este perfil es destacable además la abundancia de minerales micáceos en

TABLA I

Mineralogía de la fracción arena

PERFIL	Piroxenos	Anfiboles	Olivinos	Titanita	Micas	Magnetita Ilmenita	Granos y láminas clorotizados	Feldespatos
Trevejos	+++	++++	+	++	++	+++	+	+++
Los Rodeos.....	+++	++++	+	++	-	+++	++	+++
Barranco Hondo Alto.	++++	-	+++	0	0	+++	-	-
Chacón	+	-	-	-	+++	++++	+++	+++
Las Mejoranas	-	+	-	0	0	++++	++++	+

- ++++ Predominante
- +++ Abundante
- ++ Común
- + Presente
- Trazas
- 0 Ausente

TABLA II
Mineralogía de la fracción arcilla

P E R F I L	Halosita- Metahalosita	Ilita abierta (I-V ó I-M)	Montmorillonita	Caolinita	Gibbsite
Trejejos	+++	++++	0	++	0
Los Rodoes	+++	+++	+	+	0
Barranco Hondo Alto	++++	++	+++	0	0
Chacón	++	+	++++	0	0
Las Mejoranas	++++	+++	-	0	0
Las Mejoranas	++++	+++	++	+	-

++++ Predominante

+++ Abundante

++ Común

+ Presente

- Trazas

0 Ausente

I-V = Interestratificados Ilita-Vermiculita

I-M = Interestratificados Ilita-Montmorillonita

el hor. BC (37 por 100), así como el aumento de los feldespatos potásicos en dicho horizonte, lo cual se debe a la naturaleza fonolítica del material de origen.

En la fracción ligera de los suelos más evolucionados, se pone también de manifiesto una gran alteración, dada la frecuencia de granos y láminas clorotizadas, aunque en proporciones siempre inferiores a los feldespatos (excepto en Barranco Hondo Alto).

Entre los feldespatos el predominio corresponde a las plagioclasas en aquellos suelos desarrolladas sobre cenizas menos ácidas (Las Mejoranas). En los restantes perfiles la abundancia y preponderancia de la sanidina es manifiesta, sobre todo en los horizontes de alteración.

MINERALOGÍA DE LA FRACCIÓN ARCILLA (tabla II)

Perfil Trevejos

Como se puede ver en la fig. 1, la composición mineralógica de la fracción arcilla corresponde a una mezcla de haloisita e ilita, con un claro predominio de esta última (efectos a 10,0 Å, 4,48 Å, 3,35 Å, 2,57 Å, etc.). El hecho de que no aparezca el efecto a 5,0 Å y que cuando se orienta la muestra en agregado potásico, el pico a 10,0 Å aumenta considerablemente, sugiere que no se trata de una ilita clásica sino de ilita abierta (ilita-vermiculita o ilita-montmorillonita).

Los efectos correspondientes a los minerales caoliníticos nos indican la presencia de caolinita desordenada, caolinita y metahaloisita.

No se observan minerales arcillosos a 14,0 Å, a pesar de las condiciones ecológicas en que aparece este perfil, debido a la influencia del material de origen.

Perfil Los Rodeos

Las arcillas haloisíticas presentan muy netos sus clásicos efectos con una tendencia a aumentar al profundizar en el perfil.

La ilita abierta es codominante con la metahaloisita, con proporciones semejantes en todos los horizontes y una ligera tendencia a disminuir con la profundidad.

En menor proporción aparece montmorillonita en todo el perfil y caolinita en los horizontes superficiales (figs. 2 y 3).

Perfil Barranco Hondo Alto

En la fig. 4 podemos observar dos zonas claramente diferenciadas. En los horizontes A₂ y K, domina la metahaloisita, con sus efectos muy netos, aumentando ligeramente en el horizonte B.

Al saturar las muestras con magnesio y potasio aparece una banda de efectos entre 7,3 y 14,0 Å que indican que acompañando a la meta-

haloisita hay minerales de tipo ilita y principalmente montmorillonita, pues al calentar a 500° C se observa un desplazamiento neto de estos efectos hacia la zona de los 10,0 Å.

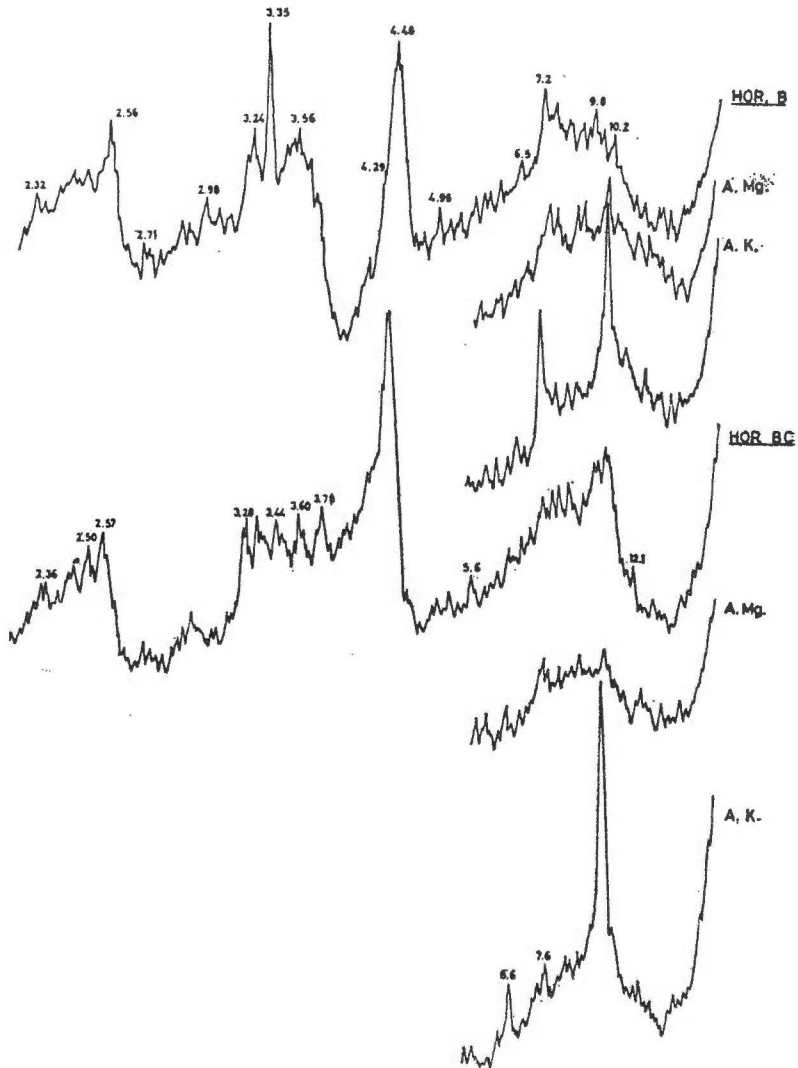


Fig. 1.—Perfil Trevejos.

Siguiendo a la metahaloesita y a la montmorillonita aparece la ilita, cuyo efecto a 10,0 Å aumenta sensiblemente al saturar la muestra con potasio, lo que sugiere que esta ilita se encuentra abierta, probablemente en proceso de montmorillonización.

Aparecen además hematites, y trazas de anfíboles y feldespatos.

En el horizonte profundo se puede observar como en los diagramas de polvo desorientado existen una serie de efectos a 4,41 Å,

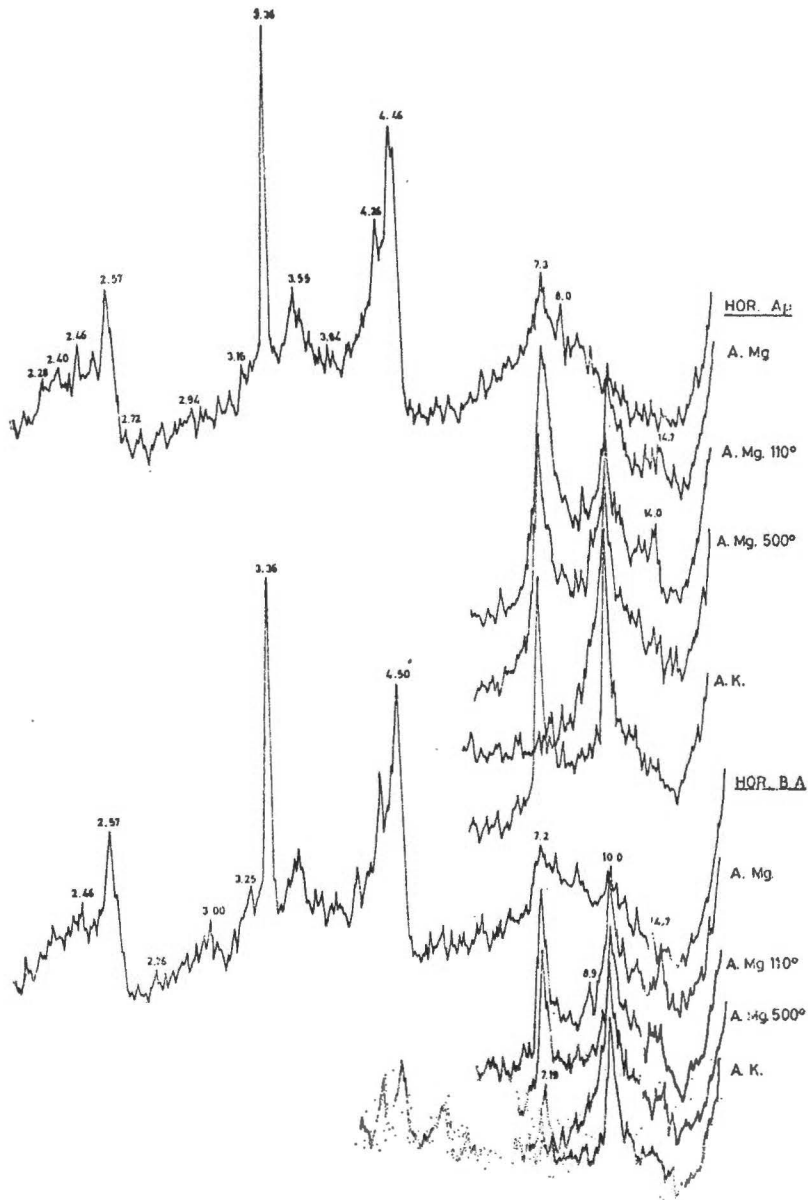


Fig. 2. —Perfil Rodeos.

2,51 Å, 1,69 Å, etc., que pueden corresponder, bien a arcillas haloisíticas o a las reflexiones generales de los minerales montmorilloníticos.

Al saturar la muestra con magnesio y orientarle, se ve que la mayoría de estos efectos corresponden a arcillas 2:1, ya que aparece clara-

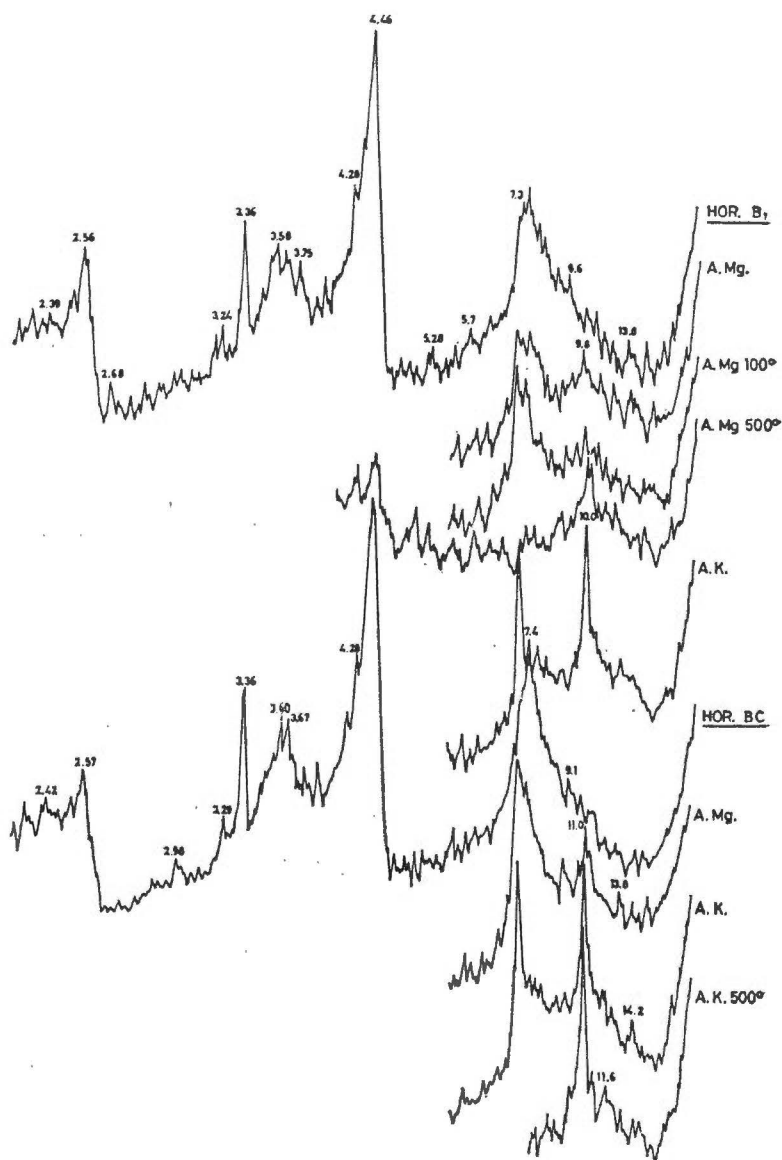


Fig. 3.—Perfil «Los Rodeos». Diagramas de rayos X.—Fracción arcilla.

mente la reflexión basal de la montmorillonita (14,0 Å) junto con otros efectos a 10,0 y 11,4 Å.

El hecho de que al calentar a 500° C se produzca el desplazamiento de estos efectos a 10,0 Å, superponiéndose a la reflexión basal de la illita es asimismo característico de la montmorillonita.

Se encuentran además arcillas haloisíticas y trazas de anfíboles.

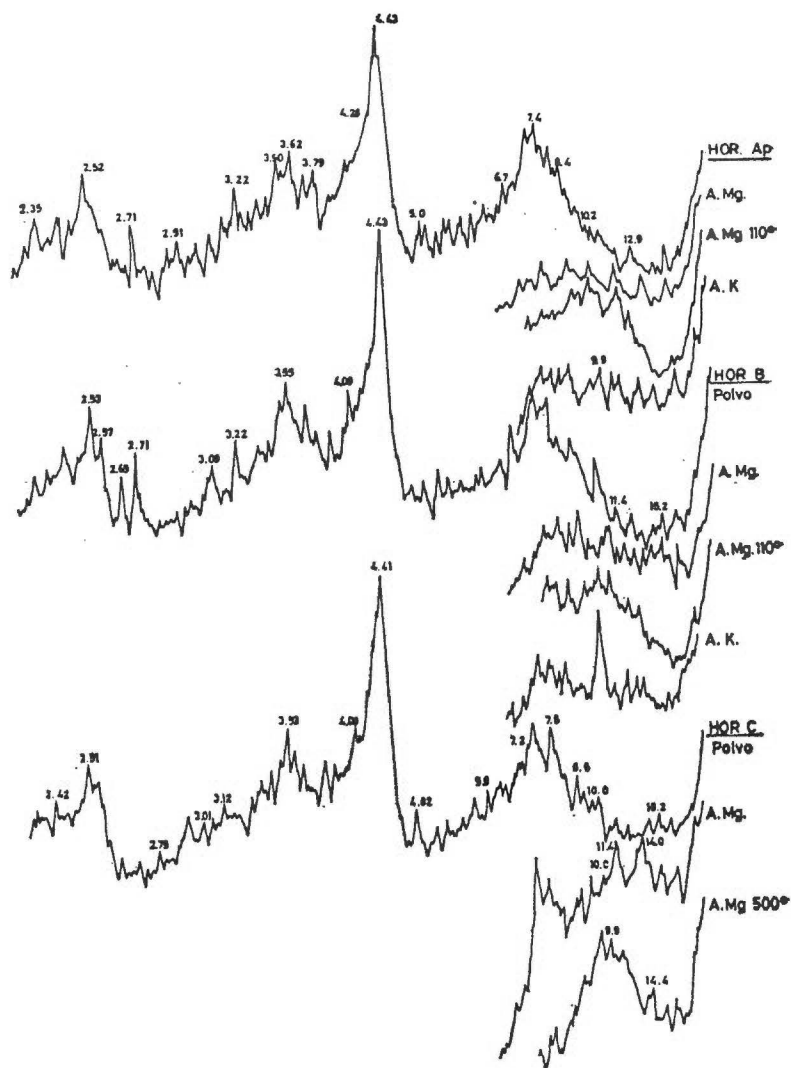


Fig. 4.—Perfil «Barranco Hondo». Diagramas de rayos X.—Fracción arcilla.

Perfil Chacón

En los tres horizontes de este perfil domina la metahaloisita, que aparece muy bien cristalizada, ya que sus efectos a 7,40 Å, 4,46 Å, 3,60 Å y 2,58-2,40 Å son muy intensos (figs. 5 y 6).

En los diagramas de polvo desorientado aparece un efecto a $10,0 \text{ \AA}$ que corresponde a ilita abierta, abundante sobre todo en el hor. II B₂b.

No se observa claramente ningún efecto a $14,0 \text{ \AA}$, sólo los diagramas de muestras orientadas con magnesio pueden indicarnos la existencia de trazas de estos minerales.

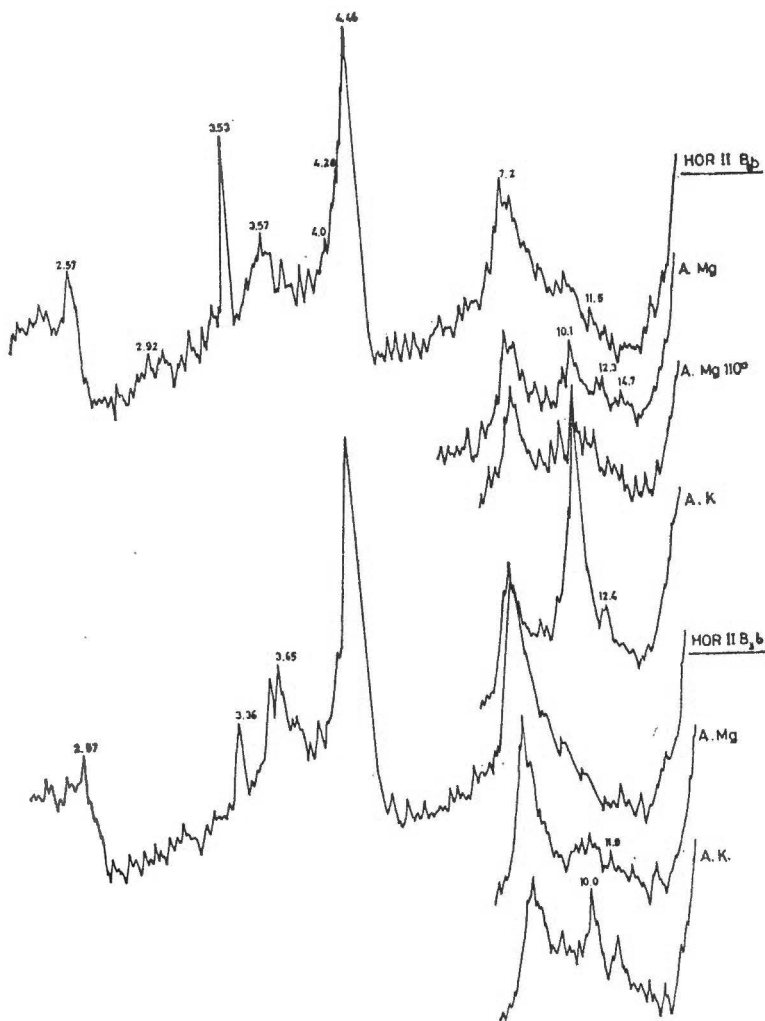


Fig. 5. —Perfil «Chacón». Diagrama de difracción de rayos X.—Fracción arcilla.

En las muestras tomadas de las imbricaciones del hor. II B₂b, la arcilla dominante sigue siendo la metahaloisita, la ilita abierta aparece en cantidad muy superior al resto del horizonte y en proporciones similares a la de la arcilla 1:1. Además mientras en el resto del perfil

Las arcillas de 14,0 Å aparecen a nivel de trazas, aquí están muy bien representadas, tratándose probablemente de montmorillonita.

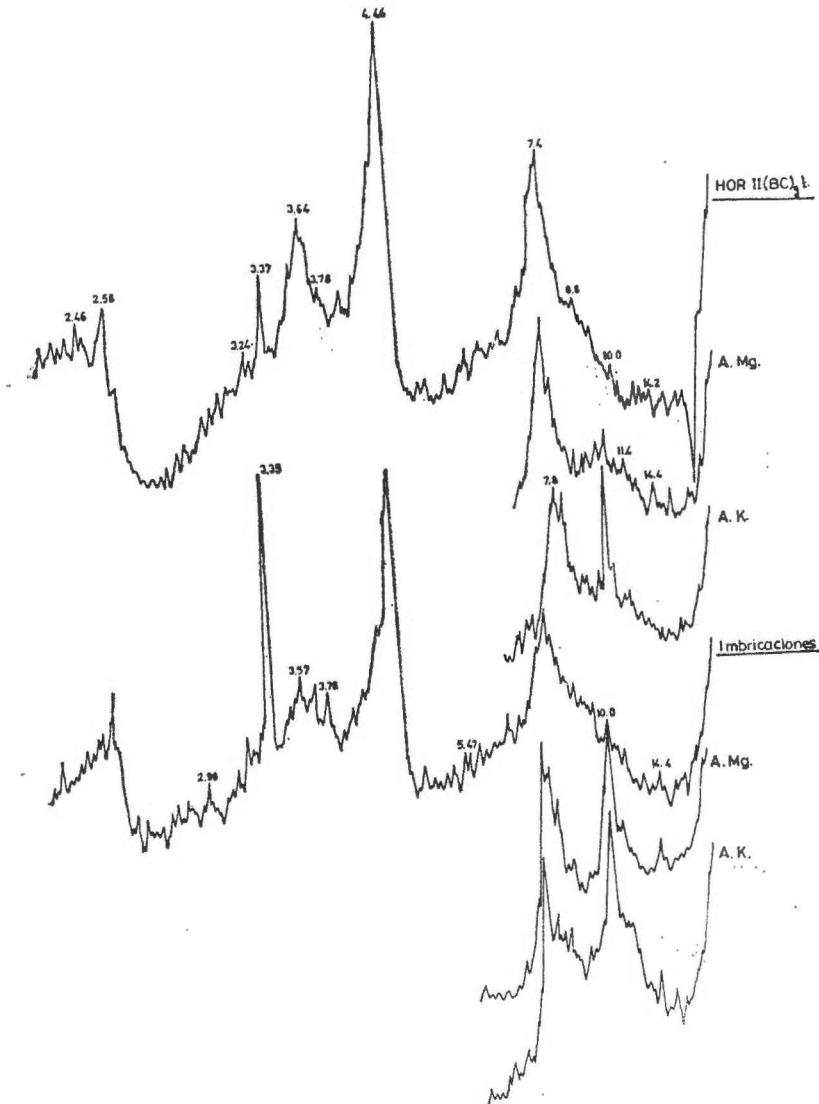


Fig. 6. —Perfil «Chacón». Diagramas de rayos X. —Fracción arcilla.

La similitud en la mineralogía de las imbricaciones del hor. II B₂b con la del suelo que sepulta al perfil Chacón, nos hace pensar que éstas no son sino material del suelo superior que ha penetrado por las grietas del suelo enterrado.

Perfil Las Mejoranas

Como en casi todos los perfiles, la fracción inferior a 2μ de este perfil está formada por una mezcla de arcillas 1:1 (metahalosita) y 2:1 (ilita abierta y montmorillonita) (figs. 7 y 8).

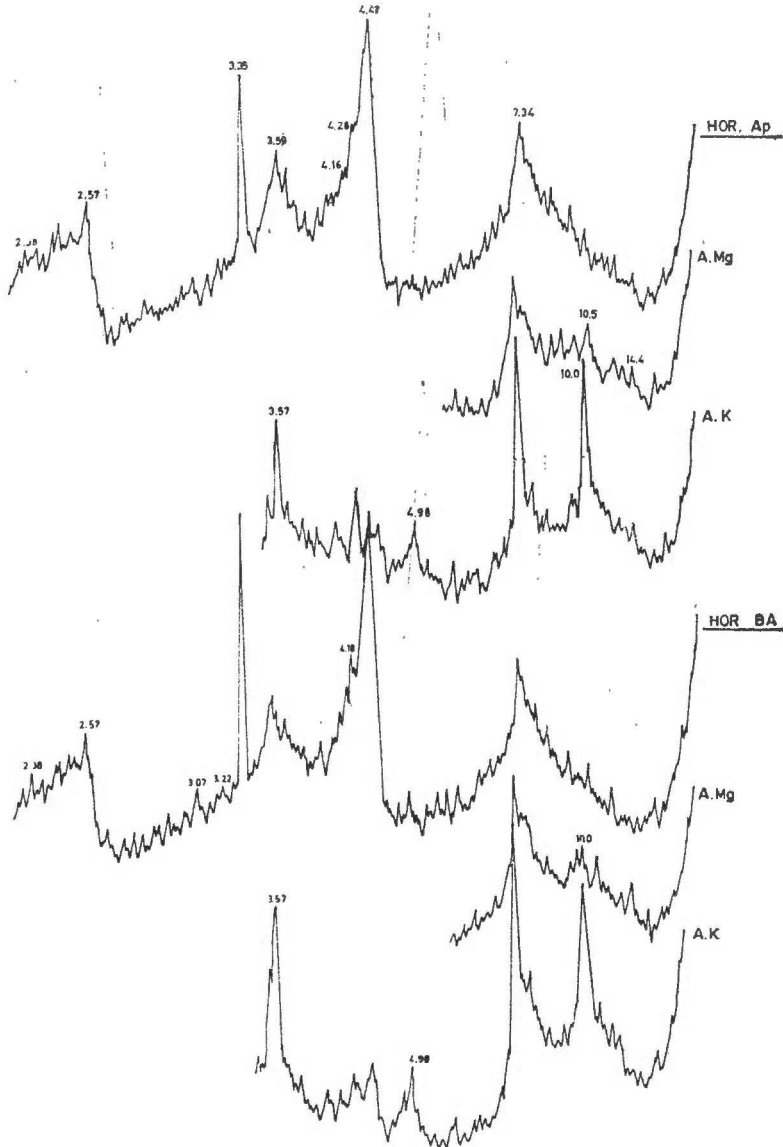


Fig. 7.— Perfil «Las Mejoranas». Diagramas de difracción de rayos X.—Fracción Arcilla.

Probablemente existen también pequeñas cantidades de caolinita, ya que los efectos a 7,10 Å y 3,57 Å se hacen excesivamente intensos y muy

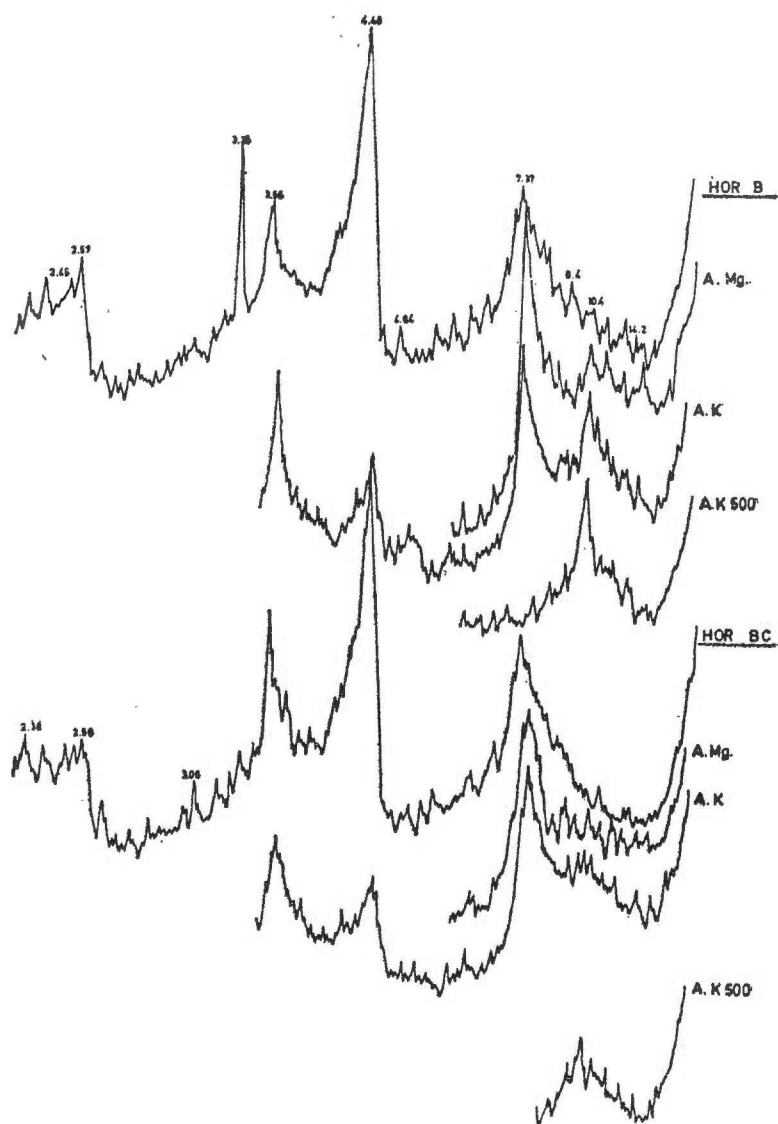


Fig. 8.—Perfil «Las Mejoranas». Diagramas de difracción de rayos X.—Fracción Arcilla.

finos al saturar las muestras con potasio. Además los espectros de absorción infrarroja muestran una banda principal a 1.030 cm^{-1} , lo que también probaría la existencia de caolinita.

La ilita abierta aparece en menor proporción que la metahaloisita, disminuyendo con la profundidad.

En cuanto a las arcillas a 14,0 Å, se encuentran en mucha menor proporción que los anteriores minerales. Poco frecuentes en superficie, aumentan notablemente en el hor. B, para disminuir de nuevo en el BC.

A lo largo de todo el perfil se observa un efecto entre 4,11 y 4,14 Å que corresponde a la goethita y trazas de gibsita en el hor. B.

CONCLUSIÓN

Esto suelos tienen una composición mineralógica formada por una mezcla de arcillas 1:1 (haloisita y metahaloisita) y 2:1 (ilita abierta y montmorillonita).

El perfil Barranco Hondo Alto se diferencia de los restantes en que la metahaloisita está acompañada de cantidades importantes de montmorillonita, que incluso llega a dominar en el horizonte profundo.

La presencia importante de montmorillonita en este perfil es fácilmente explicable, si consideramos la situación del mismo en el límite de los suelos fersialíticos con los vertisoles. Junto a la metahaloisita y montmorillonita existe también ilita abierta pero en cantidades muy pequeñas.

En los restantes perfiles, el predominio corresponde en algunos casos a las arcillas de la familia caolínica (Chacón y Las Mejoranas), mientras que en otros (Trevejos y algunos horizontes de Los Rodeos), el predominio corresponde a la ilita abierta, lo que está claramente en relación con la importancia del material fonolítico en la roca madre de los perfiles.

El hecho de que exista siempre una correlación entre la abundancia de micas (biotita) en el material de origen y un aumento en la proporción de ilita abierta en la fracción arcilla, nos hace suponer un proceso de herencia y degradación para explicar la presencia de los interestratificados ilita-vermiculita o ilita-montmorillonita en estos suelos.

Según P. Duchaufour (1975), el paso de mica a ilita se hace sin variaciones importantes en la estructura del mineral, en condiciones de débil acidez y de buena actividad biológica.

La evolución de las ilitas a vermiculitas o montmorillonitas a través de minerales interestratificados requiere condiciones de elevada pluviometría y buen drenaje que permitan la eliminación del ión potasio interfoliar.

En el caso de los perfiles Los Rodeos, Chacón y Las Mejoranas, con un régimen ústico, se dan las condiciones adecuadas para la abertura de la ilita. Sin embargo, en el caso de los perfiles Trevejos y Barranco Hondo Alto, situados en una zona con una pluviometría aproximada de 400 mm. anuales, hemos de pensar (M. Lamauroux, 1971) que el factor tiempo puede intervenir falseando las correlaciones entre la precipitación actual y el proceso de abertura de las ilitas, el cual pudo producirse bajo condiciones climáticas diferentes de las actuales.

Para el caso de la evolución de los minerales micáceos hacia montmo-

rillonita (Y. Tardy, 1969; M. Lamouroux, 1971) es necesaria la existencia de una fuente suministradora de sílice.

En el caso de los suelos desarrollados sobre materiales volcánicos piroclásticos, de gran permeabilidad, fácilmente alterables y ricos en sílice, el suministro de la sílice necesaria está asegurada y el proceso de abertura de la ilita hacia interstratificados de tipo ilita-montmorillonita es posible.

En los perfiles en los que dominan las arcillas haloisíticas, éstas se presentan con un grado de hidratación variable, aunque es la metahaloisita la que más abunda, debido seguramente a los tratamientos previos a que han sido sometidas las muestras. La caolinita aparece en pequeñas proporciones en el perfil Las Mejoranas.

RESUMEN

Se estudia la mineralogía de las fracciones gruesa y fina de los suelos fersialíticos desarrollados sobre cenizas volcánicas de tendencia fonolítica, en las Islas Canarias.

En la fracción arena, se diferencian por un lado los suelos más jóvenes, sin horizonte argílico, donde predominan los piroxenos (augita), anfíboles (hornblenda) y feldespatos (sanidina), con cantidades menores de olivino y micas. En los suelos más evolucionados con horizonte argílico, la fracción arena muestra una gran alteración y un predominio de óxidos e hidróxidos de hierro, con pequeñas cantidades de micas en los niveles fonolíticos y trazas de piroxenos, olivinos, anfíboles, titanita, etc.

En la fracción arcilla existe una mezcla de arcillas 1:1 (haloisita-metahaloisita y a veces caolinita) y 2:1 (ilita abierta y montmorillonita). Sin embargo en unos perfiles dominan los minerales montmorilloníticos y en otros las arcillas haloisíticas o la ilita abierta, dependiendo de las condiciones ecológicas y de la naturaleza del material de origen.

Se dan consideraciones acerca del origen de la ilita y de los interstratificados ilita-vermiculita o ilita-montmorillonita.

Centro de Edafología y Biología Aplicada de Tenerife.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) ALEXANDRE, T. y PINILLA, A. (1968). Algunas modificaciones en las técnicas aplicadas al estudio mineralógico de las fracciones gruesas o arenas. *Anales Edaf. y Agrob.*, XXVII, 564-567.
- (2) DUCHAUFOUR, P. (1975). *Manual de Edafología*. Traduc. española por T. Carballas. Toray-Masson, Barcelona, 476.
- (3) HIDALGO, A. y SERRATOSA, J. M. (1955). Espectros de absorción infrarroja de minerales de la arcilla obtenidos mediante la técnica de comprimidos de BrK. *Anales Edaf. y Agrob.*, 269-292.
- (4) LAMOUROUX, M. (1971). *Etude des sols formés sur roches carbonatées. Pédogénèse fersialitique au Liban*. Thèse, Univ. Strasbourg, 314.
- (5) RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ, A., TEJEDOR, M. L. y FERNÁNDEZ CALDAS, E. (1979). Suelos fersialíticos sobre cenizas volcánicas. I. Características morfológicas y físico-químicas. *Anales de Edaf. y Agrob.*, XXXVIII, 1607-1624.
- (6) TARDY, Y. (1969). *Géochimie des altérations. Etudes des arènes et des eaux de quelques massifs cristallins d'Europe et d'Afrique*. Thèse. Univ. Strasbourg, 274.

Recibido para publicación: 11-IV-78

SUELOS FERSIALITICOS SOBRE LAPILLIS BASALTICOS

I. CARACTERISTICAS MORFOLOGICAS, FISICO-QUIMICAS Y MINERALOGICAS

p o r

A. RODRIGUEZ RODRIGUEZ *, P. QUANTIN **, M. L. TEJEDOR SALGUERO *
y E. FERNÁNDEZ CALDAS *

S U M M A R Y

FERSIALLITIC SOILS DEVELOPED ON BASALTIC LAPILLIS. I. MORPHOLOGICAL, PHYSICO-CHEMICAL AND MINERALOGICAL CHARACTERISTICS

The morphological, physico-chemical and mineralogical characteristics of the fersiallitic soils developed on basaltic lapillis rich in glass, in the Canary Islands, are herein studied.

They are morphologically differentiated from the fersiallitic soils developed on phonolitic ashes in the same climatic zone by a deeper red colour, more limous texture and a hardly developed structure.

These soils are rich in bases, specially on the horizon of lapilli alteration, with high contents of Fe_2O_3 and TiO_2 and relatively low silica values, which indicates a great alteration and geochemical evolution.

The mineralogy of the sand fraction shows an almost general alteration on these soils, leaving only some resistant minerals such as magnetite.

Iron oxydes and hydroxydes (hematites and gothite) and aluminium (gibbsite) can be easily identified in the clay fraction, as well as a clear predominance of clays 1:1 on the 2:1.

I N T R O D U C C I Ó N

Los suelos fersialíticos que se estudian en este trabajo corresponden a tres perfiles. Dos situados en la planicie de Los Rodeos (Tenerife), a 700 m. de altitud (*Las Carboneras* y *La Mina*) y un tercero (*Llano Negro*) en la isla de La Palma, a una altitud aproximada de 800 m., en la misma zona climática.

Estos suelos están situados en la cumbre de conos volcánicos advencios de ciner (H. Hausen, 1956; J. M. Fuster et al., 1968), muy frecuentes en toda la zona de suelos fersialíticos.

Las condiciones climáticas han sido definidas en un trabajo anterior

* Centro de Edafología y Biología Aplicada de Tenerife.

** Maître de Recherches, ORSTOM, Bondy-93 (Francia).

(A. Rodríguez et al., 1978a) y consisten esencialmente en un régimen ústico para los tres perfiles.

Son suelos que se han desarrollado casi exclusivamente sobre lapilli basálticos muy ricos en vidrios, lo que en gran medida condiciona su evolución, por lo general más acusada que en los suelos sobre cenizas fonolíticas (A. Rodríguez et al., 1978d), y con una cierta tendencia a la ferralitización.

La vegetación está constituida por un pastizal de gramíneas en el caso de los perfiles Las Carboneras y Llano Negro y por una terraza cultivada en La Mina.

TÉCNICAS EXPERIMENTALES

El contenido en carbono total se determinó con dicromato potásico en medio sulfúrico (A. Walkley et al., 1935). El contenido en nitrógeno total se determinó siguiendo el método Kjeldahl.

El pH se midió en suspensión acuosa (1:2,5) y en cloruro potásico (1:2,5).

Los cationes cambiables se determinaron con acetato amónico 1 N a pH 7 (C. A. Bower et al., 1952). La capacidad total de cambio se determinó con acetato sódico 1 N a pH 8,2.

Para el análisis granulométrico, el procedimiento seguido fue el de V. J. Kilmer et al., 1949, mediante el uso de la pipeta Robinson, previa dispersión con hexametáfosfato sódico.

La extracción de los óxidos de hierro libre se hizo por el sistema buffer ditionito-citrato-bicarbonato sódico (F. Mehra et al., 1960).

El análisis químico total de las muestras se ha realizado mediante la técnica del ataque $\text{FH}/\text{NO}_3\text{H}$ en un reactor a presión (L. Ximénez Herráiz, 1975).

Para el estudio microscópico de la fracción arena se ha seguido la técnica de T. Aleixandre et al., 1968.

La fracción arena se separa en dos partes, una fracción ligera (p. e. $< 2,9$) y otra fracción densa (p. e. $> 2,9$). Esta última se monta directamente en un portaobjetos con bálsamo de Canadá, mientras que la fracción ligera se tiñe primeramente con cobaltinitrito sódico y hematina y luego se monta en una mezcla de clorobenzol y nitrobenzol.

La fracción arcilla se estudió mediante difracción de rayos X (difractómetro Philips PW 1010), eliminando previamente materia orgánica y geles amorfos, y en algunos casos por espectroscopía de absorción infrarroja (A. Hidalgo et al., 1955) (espectrofotómetro Perkin-Elmer modelo 225 de doble haz) y microscopía electrónica (Philips ME 300).

CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS

La morfología de estos suelos es claramente diferente de la de los suelos fersialíticos sobre materiales fonolíticos (A. Rodríguez et al., 1978b).

Así el color es intensamente rojo (2,5 YR) en todos los casos, creemos que como consecuencia de la intensa rubefacción que afecta al vidrio volcánico en el curso de su alteración. La textura es limosa o límo-arcillosa y la estructura está poco desarrollada incluso en el horizonte B, generalmente poliédrica media.

CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS

Materia orgánica

El contenido y distribución de la materia orgánica no presenta variación con respecto a los suelos sobre cenizas fonolíticas, observándose siempre unos valores muy bajos y una brusca disminución al pasar del horizonte superficial al inmediato inferior, manteniéndose luego prácticamente constante al profundizar en el perfil.

El grado de humificación en este caso es ligeramente superior al que presentan los suelos sobre piroclastos fonolíticos, dados los valores algo más elevados de la relación C/N.

Complejo absorbente

Respecto al contenido en bases cambiables, los valores son ligeramente superiores al de los suelos desarrollados a partir de cenizas ácidas, situados en la misma zona climática, lo que sin duda se debe, no sólo al alto contenido en bases del material de origen sino también al carácter más reciente de los mismos y a una lixiviación no excesiva.

Al igual que en los otros suelos fersialíticos, entre los cationes que saturan el complejo de cambio, dominan ampliamente los divalentes sobre los monovalentes.

El contenido en calcio cambiante es siempre superior al de los restantes suelos fersialíticos situados en la misma zona climática (5,0-9,6 meq/100 grs.) (fig. 1). El valor más bajo aparece en el perfil Las Carboneras y los más elevados en el perfil Llano Negro, debido en este último caso a una posición topográfica diferente, que facilita la acumulación de bases.

El contenido en magnesio es también muy elevado, aunque inferior al del calcio (2,7-7,4 meq/100 grs.) (fig. 1). Hay que destacar el aumento de este elemento en los horizontes profundos, debido al alto porcentaje de magnesio contenido en los vidrios volcánicos básicos (G. Terzinier et al., 1968).

La proporción de cationes monovalentes no varía significativamente de los valores encontrados en los perfiles sobre cenizas fonolíticas. El sodio de cambio varía entre 0,4 y 4,6 meq/100 grs., tendiendo a aumentar mucho con la profundidad, mientras que el potasio no presenta una variación definida con la profundidad (0,1-2,4 meq/100 grs.). Un contenido excesivamente alto en potasio de cambio aparece en el horizonte Ap del perfil La Mina, debido a la existencia de contaminaciones fonolíticas coluviales en la parte superior del perfil.

T A B L A I
Descripción morfológica

Perfil LAS CARBONERAS La Esperanza (TENERIFE)		<i>Situación.</i> -Cerca de la cumbre del cono volcánico Las Carboneras. <i>Altitud.</i> -825 m. <i>Orientación.</i> -Norte. <i>Pendiente.</i> -30-40 ‰. <i>Roca madre.</i> -Lapillis basálticos. <i>Vegetación.</i> -Prado de gramíneas y helechos.					
Horizonte (Profundidad)	Color	Manchas	Elementos gruesos	Textura	Estructura	Porosidad	Consistencia
A ₁₁ (0-30 cms.)	Húmedo 5 YR 4/4 Seco 5 YR 3/3.5		Algunas gravas.	Limo arcilloso.	Entre grumosa y granular media y fina.	Muy poroso.	Mediana Friable.
BA (30-55 cms.)	Húmedo Rojizo 2.5 YR 4/4			Más arcilloso que el A ₁₁ .	Poliédrica y prismática media.	Permeable	Más consistente que A ₁₁
B (55-120 cms.)	Húmedo 2.5 YR 3/8 Seco 5 YR 4 5/6	Pocos revestimientos negros de manganeso		Arcillo limosa	Prismática fina y poliédrica media.	Menor que en los horizontes superficiales.	Bastante fuerte.
BC (+ 120 cms.)	Húmedo Rojo 2.5 YR 4/6 Seco 5 YR 4/6		Lapillis alterados de algunos cms. de diámetro.	Arcillosa.		Menos permeable que los horizontes anteriores.	Friable.

Observaciones.—Suelo relativamente reciente con una alteración de tipo tropical intensa. El suelo presenta ciertas características morfológicas en el horizonte B (color rojo, estructura poco desarrollada, poca plasticidad, reacción positiva al ensayo del FNa, etcétera) que hacen pensar en un horizonte ferralítico. El hor. A₁₁ presenta algunas características de andosol. El perfil en su conjunto hace pensar en un suelo ferralítico ándico del tipo de los que se encuentran en cotas más elevadas, sin llegar a tener verdaderos caracteres ferralíticos.

TABLA II
Descripción morfológica

Horizonte (Profundidad)	Color	Elementos gruesos	Textura	Estructura	Porosidad	Consistencia	Raíces
Perfil LA MINA La Laguna (TENERIFE)	<p><i>Situación.</i>-En la vertiente Sur de la montaña La Mina (Acuartelamiento C. O. E.). <i>Altitud.</i>-700 m. <i>Orientación.</i>-Sur. <i>Pendiente</i> 15 ‰. <i>Roca madre.</i>-Lapillis basálticos escoriáceos. <i>Vegetación.</i>-Terraza cultivada.</p>						
A _p (0-21 cms.)	Húmedo 5-2.5 YR 4/4 Seco 5 YR 3.5/4	Algunas gravas.	Arcillo- Arenosa	Granular fina a media	Muy permea- ble	Cohesión mediana. Friable.	Enraizamien- to medio.
AB (21-48 cms)	Húmedo 5-2.5 YR 4/4	Algunas gravas.	Arcillosa	Poliédrica media	Muy poroso	Cohesión fuerte. Poco friable.	Pocas
B ₁ (48-82 cms.)	Húmedo 2.5 YR 4/4 Seco 5 YR 4/7	Algunas gra- vas. Mineral. primari. poco alterados.	Arcillosa	Poliédrica gruesa con pris- mas pequeños poco desa- rollados. Revestimientos pardos.	Permeable	Cohesión fuerte. Poco friable.	Pocas
B ₂ (82-125 cms-)	Húmedo 2.5 YR 3/6 Seco 5 YR 4/5	Pocas gravas que no son sino escorias muy alteradas	Arcillosa	Poliédrica gruesa	Baja	Cohesión muy fuerte	Raras
B ₃ (125-180 cms)	Húmedo 2.5 YR 3/6 Seco 5 YR 4/8	Algunas gravas de escorias muy alteradas	Arcillosa	Poliédrica gruesa con pris- mas muy pequeños. Reves- timientos pardo-rojizos. Caras brillantes y estriadas.		Cohesión muy fuerte	Muy pocas
BC (180-250 cms.)	Húmedo 2.5 YR 4/6 Seco 5 YR 4/8	Escorias muy alteradas	Arcillosas	Poliédrica gruesa		Cohesión fuerte	

Observaciones.—Suelo típicamente fersialítico en la zona profunda del perfil, con una ligera evolución hacia un intergrado ferralítico en los horizontes superficiales que aparecen antropizados y probablemente coluvionados.

TABLA III

Descripción morfológica

Horizonte (Profundidad)	Color	Manchas	Elementos gruesos	Textura
Perfil LLANO NEGRO Garafia (LA PALMA)	<i>Situación.</i> -Cerca del Llano Negro, en la pista de Sto. Domingo a Llano Negro. <i>Altitud.</i> -850 m. <i>Orientación.</i> -Oeste. <i>Fendiente.</i> -20 ^o / ₁₀₀ . <i>Roca madre.</i> -Material piroclástico. <i>Vegetación.</i> -Tagasastes, brezos, tederas y pastizal de gramíneas.			
A ₁₁ (0-10 cms.)	Húmedo 5 YR 4/4	Uniforme. Algunas manchas más oscuras.	No hay.	Areno-limosa
A ₁₂ (10-25 cms.)	Húmedo 5 YR 3/3 Seco 5 YR 3/4	Uniforme.	Presencia de regular tamaño: 3-4 cms.	Areno-limosa.
Transición (25-40 cms.)	Húmedo 2.5 YR 3/4 Seco 5 YR 4/4	Uniforme	Presencia de regular tamaño.	Arcillo-Arenosa.
B (40-92 cms.)	Húmedo 2.5 YR 3.5/6 Seco 5 YR 4/8	De 3-5 cms. de diámetro unas más claras 7.5 YR 5/6 y otras más oscuras 5 YR 3/4	No hay.	Arcillosa.
BC ₁ (+ 92 cm)	Húmedo 10 YR 5/6 Seco 5 YR 4/5	No uniforme.	No hay.	Limo Arcillosa.

Observaciones.—Probable aporte de material piroclástico a partir del que se desarrolló el suelo. El suelo actual se encuentra rejuvenecido superficialmente por un coluvio aterrazado con ligeras

El orden de concentración de cationes, al igual que en los suelos desarrollados a partir de cenizas ácidas, puede establecerse así:

Calcio > Magnesio > Sodio > Potasio.

La capacidad de cambio de cationes (fig. 1) es semejante a la de los restantes suelos fersialíticos que evolucionan bajo las mismas condiciones climáticas y su valor oscila entre 20 y 40 meq/100 grs., a

Estructura	Porosidad	Consistencia	Raíces	Transición
Poliédrica fina. Subangular. Sin revestimientos.	Macroporosidad abundante.	Rígida. No plástico	Finas y medias muy abundantes.	Neta y regular.
Migajosa a poliédrica fina. Sin revestimientos.	Menos abundante que en A ₁₁ .	Blando. Poco plástico.	Finas y medias muy abundantes.	Neta y regular.
Poliédrica subangular fina. Algunas superficies brillantes.		Plástico.	Medianas y gruesas y pocas finas.	Difusa y regular.
Poliédrica media. Presencia de superficies brillantes y revestimientos.	Muy escasa.	Plástico.	Gruesas y medianas abundantes.	Difusa e irregular.
Poliédrica media. Presencia de superficies brillantes y de deslizamiento	Escasa.	Menos plástico que B ₂ .	Muy pocas medianas y gruesas.	Neta a un hor. B ₂ fosilizado.

actual y que fosilizó un suelo más antiguo de tipo fersialítico con características ferralíticas. características ándicas.

pesar de la tendencia ferralítica de estos suelos, debido a la presencia de haloisita como arcilla dominante (P. Quantin, 1976).

La neta disminución observada en la capacidad de cambio del perfil Llano Negro al pasar de los horizontes superiores a los inferiores (discontinuidad que es patente en todas las características físico-químicas) se debe a una dominancia de ilita abierta y montmorillonita en los horizontes superiores y de haloisita y caolinita en profundidad.

El porcentaje de saturación de bases se mantiene próximo al 50

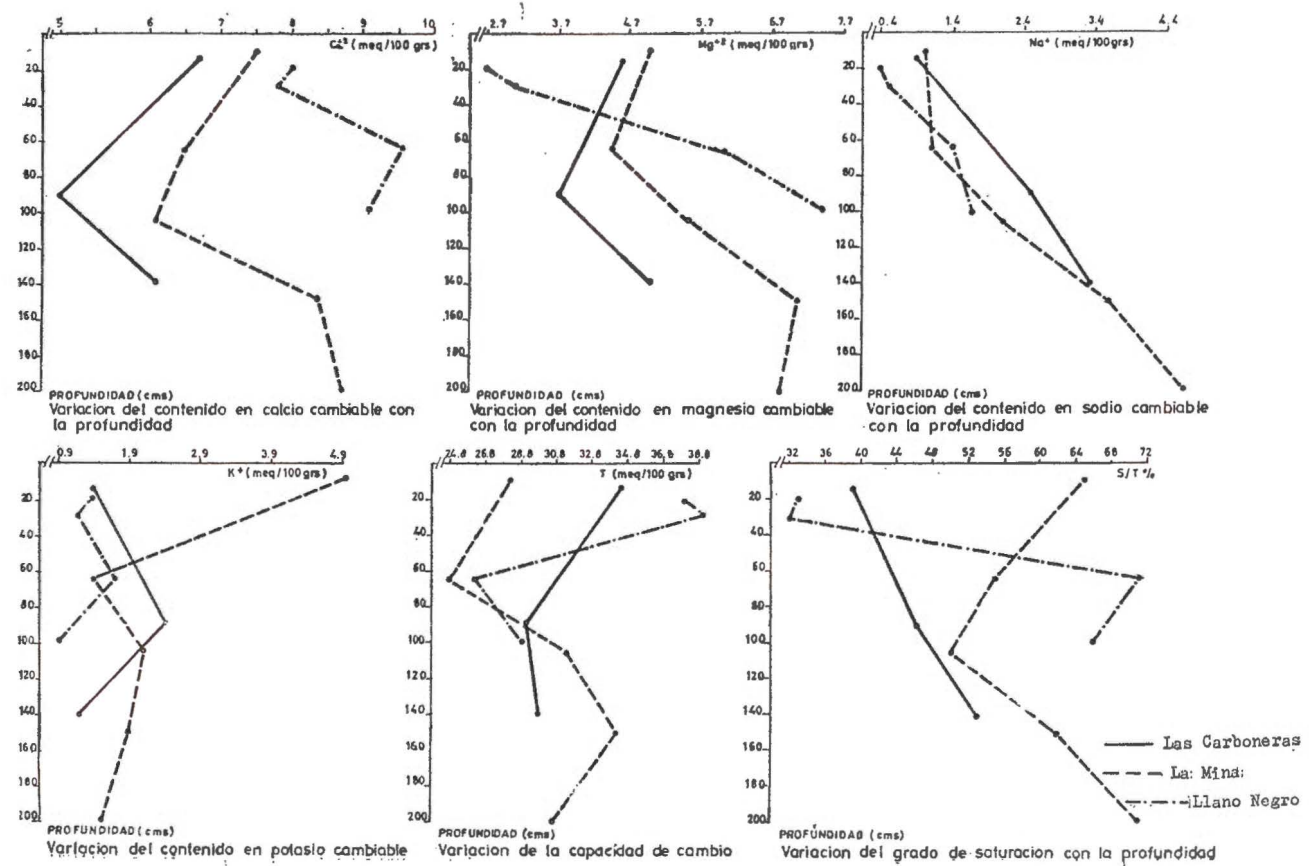


Fig. 1.

por 100 con algunos valores excesivamente altos, como en los horizontes profundos del perfil Llano Negro y en el hor. BC de La Mina (70 por 100), lo que se debe en ambos casos a una acumulación de bases junto con una disminución acusada de la capacidad de cambio.

En general, el porcentaje de saturación es más elevado en los horizontes profundos de estos suelos que en los otros perfiles sobre cenizas fonolíticas situados en la misma zona climática, como consecuencia del aumento en profundidad del calcio y magnesio cambiabiles.

pH de los suelos

En estos suelos, el pH medido en agua oscila entre 6,0 y 7,0 (fig. 2), siguiendo una tendencia semejante a la de los cationes divalentes al aumentar la profundidad.

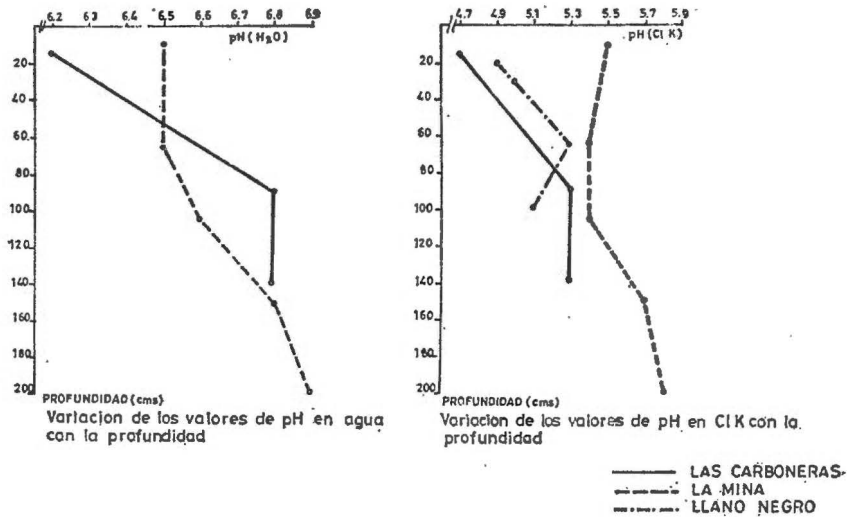


Fig. 2.

La diferencia entre los valores de pH en agua y en cloruro potásico son siempre superiores a la unidad, indicando un predominio de minerales secundarios cristalizados sobre los amorfos.

Análisis químico total

En lo que se refiere al material de origen, dada la situación de estos perfiles en la cumbre de los conos volcánicos de cínider, la uniformidad es mayor que en los suelos sobre cenizas, donde ha sido más frecuente la superposición de materiales correspondientes a diferentes erupciones volcánicas.

El análisis químico en el suelo total, aparte de la naturaleza básica del material de origen, nos pone de manifiesto una intensa desilicificación, que parece ser normal en materiales basálticos, no cristalinos de granulometría gruesa (G. Pedro, 1968).

Los contenidos en Fe_2O_3 total (20-25 por 100) y en TiO_2 total (11-15 por 100) (fig. 3) excesivamente altos, no se deben solamente a una mayor riqueza en estos sesquióxidos en el material basáltico, sino que es el resultado de una acumulación relativa como consecuencia de la intensa alteración a que han sido sometidos estos suelos.

Al igual que en los restantes perfiles, la distribución de la sílice total con la profundidad es irregular, y viene condicionada por el grado de alteración del material de origen y por la importancia de los rejuvenecimientos coluviales.

La curva de distribución del Fe_2O_3 total al profundizar en el perfil, es más regular y tiende a aumentar con la profundidad.

Los valores de la relación sílice/alúmina en el suelo total (2,0-4,0) son semejantes a la de los suelos fersialíticos sobre materiales fonolíticos y tampoco son indicativos de una composición mineralógica definida. La tendencia de esta relación al aumentar la profundidad es semejante a la de la sílice total.

Una tendencia parecida sigue la relación $\text{SiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$, aunque en este caso los valores son mucho menores que los obtenidos para los suelos fersialíticos desarrollados sobre cenizas ácidas, dados los más altos porcentajes de hierro en estos suelos, como consecuencia de una mayor alteración.

Al pasar a la fracción arcilla, se observa una disminución acusada del contenido en SiO_2 , Na_2O y K_2O , con respecto a los valores encontrados en el suelo total.

Sin embargo esta disminución es menor que en los restantes suelos fersialíticos, ya que son suelos más evolucionados y alterados, con menor proporción de minerales primarios en el suelo total.

Los valores de Fe_2O_3 total (fig. 3), disminuyen considerablemente al pasar a la fracción arcilla, aunque siempre se mantienen superiores a los de los suelos fersialíticos desarrollados a partir de cenizas fonolíticas. Esto parece indicar que la mayor parte del alto contenido en Fe_2O_3 en el suelo total, se debe en este caso a la presencia de hematites u otros minerales de hierro del tamaño limo y arena, procedentes de la alteración de los vidrios básicos.

Los valores de la relación sílice/alúmina en la fracción arcilla varían en un amplio rango (1,7-2,4) al igual que en los suelos desarrollados a partir de cenizas ácidas, dada la similitud en la mineralogía de arcillas en ambos grupos de perfiles.

Hierro libre

El porcentaje de hierro libre en el suelo total (11-20 por 100) (fig. 4) es muy superior al de los restantes suelos fersialíticos, dada la mayor alteración que han sufrido estos suelos.

En la fracción arcilla, el contenido en hierro libre (en porcentaje de muestra seca a 105°C) es semejante al del suelo total (12-18 por 100).

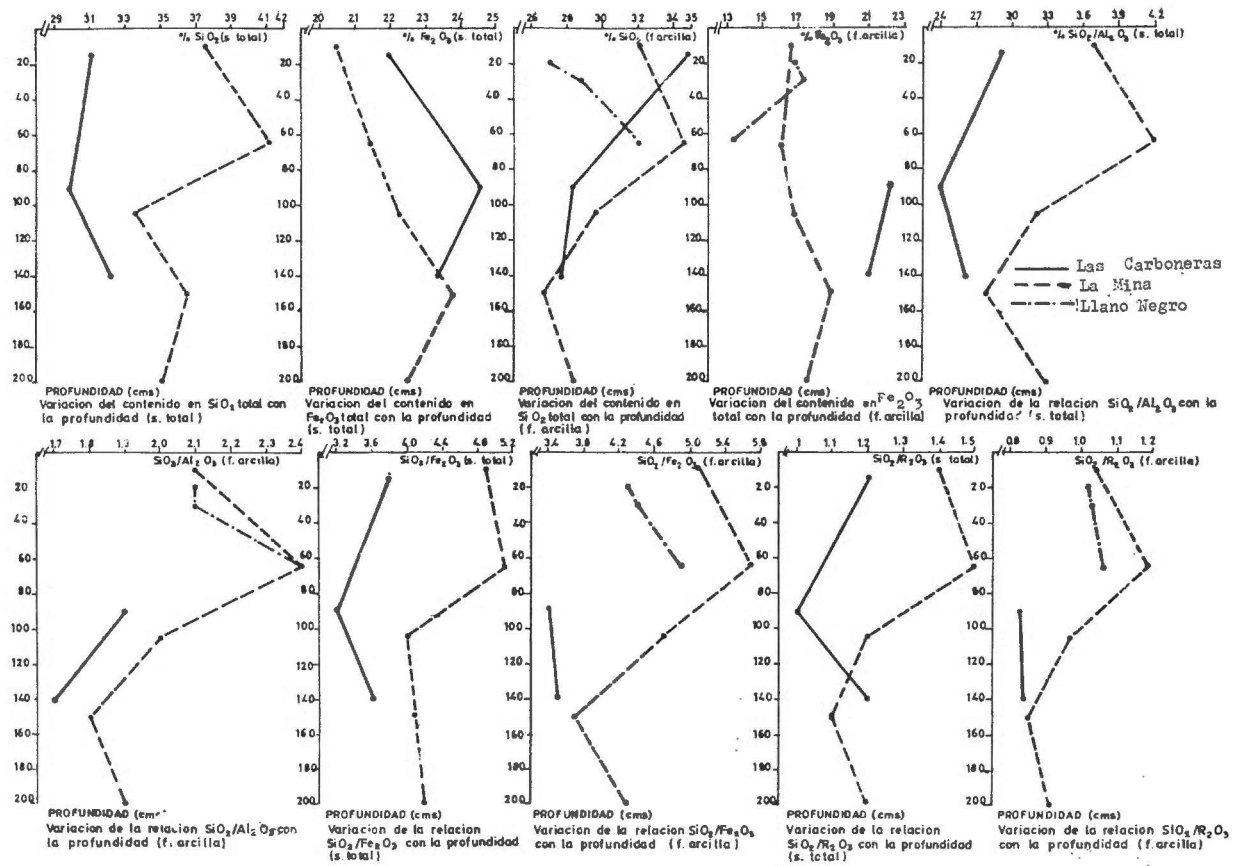


Fig. 3.

A diferencia de los suelos sobre cenizas fonolíticas, donde la mayor parte del hierro libre aparece en la fracción arcilla, aquí una proporción importante aparece en el suelo total, lo que se debe a una alta proporción de hematites u otros minerales de hierro de granulometría superior a 2μ y que son extraíbles por el método empleado.

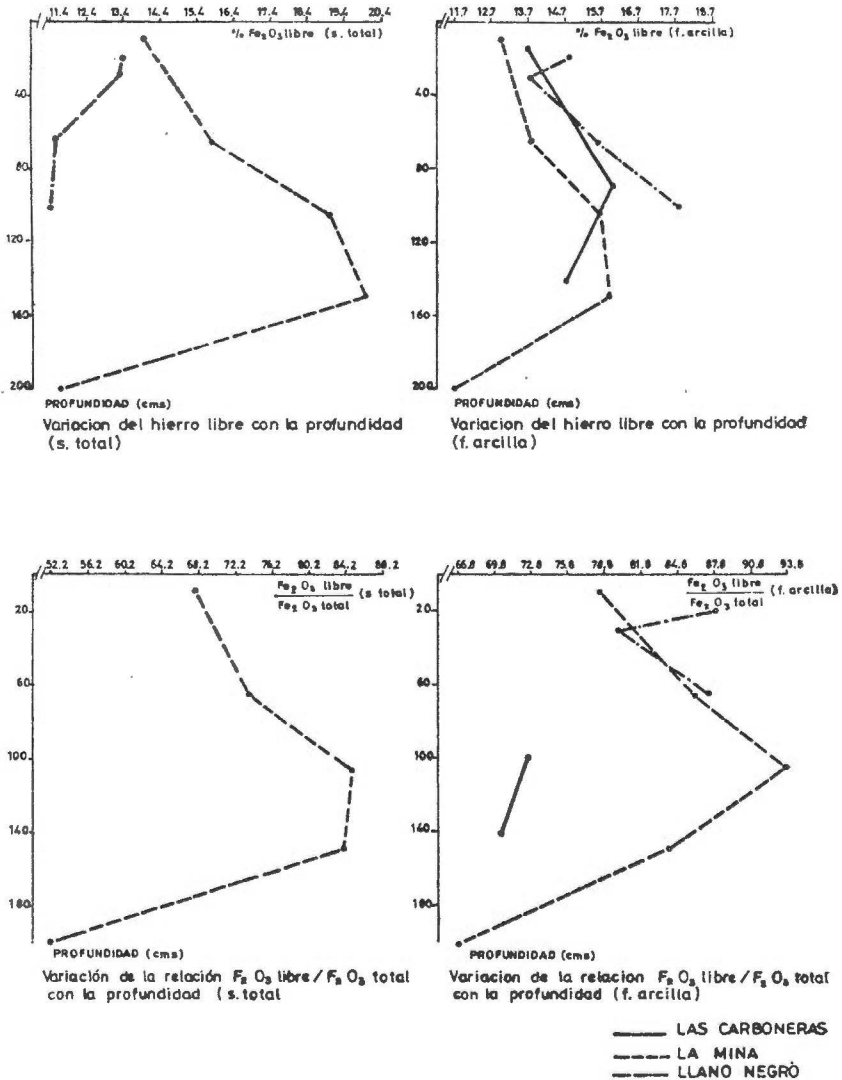


Fig. 4.

La relación hierro libre/hierro total en el suelo total, tiene valores comprendidos entre el 50 y el 85 por 100. En la fracción arcilla los porcentajes de liberación de hierro (67-94 por 100) son superiores, dada

la casi ausencia en esta fracción de minerales primarios que contengan este elemento.

Análisis granulométrico

Al igual que se había observado en el estudio morfológico, los porcentajes de arcilla en estos suelos son menores que en los suelos fersialíticos sobre cenizas fonolíticas, notándose en particular un notable incremento de la fracción limo (fig. 5), ya que las arenas no presentan variación acusada con respecto a los otros suelos.

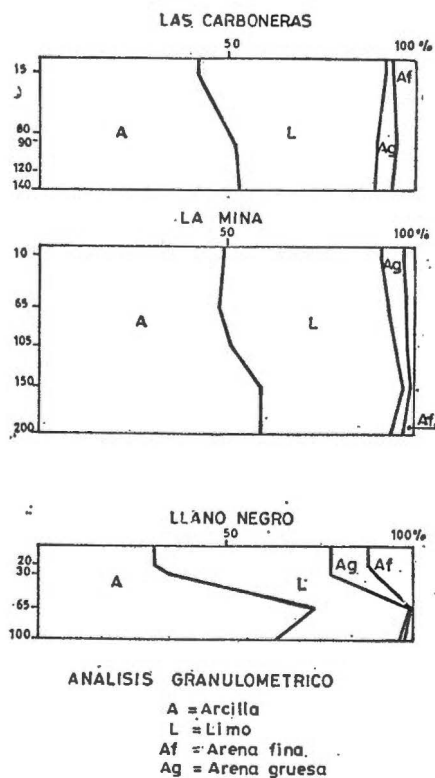


Fig. 5.

Estos suelos tienen un vientre de arcillas y un horizonte argílico iluvial, que coincide con el B en el perfil Llano Negro y con el BC en los perfiles Las Carboneras y La Mina.

CARACTERÍSTICAS MINERALÓGICAS

Mineralogía de la fracción arena (tabla IV)

En la mineralogía de arenas de estos suelos se pone de manifiesto una alteración intensa, superior incluso a la de los suelos fersialíticos más evolucionados desarrollados sobre cenizas fonolíticas.

El perfil La Mina presenta una menor alteración y en este caso dominan los minerales transparentes, principalmente el olivino, sobre todo en los dos horizontes superficiales, observándose una discontinuidad mineralógica entre estos dos horizontes y la parte profunda del perfil.

En los restantes perfiles, la alteración es total y el predominio corresponde en la fracción densa a minerales opacos, bien de alteración o bien minerales resistentes como la magnetita o la ilmenita.

En el perfil Llano Negro aparece también una discontinuidad mineralógica a nivel del horizonte de transición, ya que aunque la dominancia en todo el perfil es de los minerales opacos, éstos son mucho más abundantes en los horizontes B y BC₁, donde los transparentes aparecen al estado de trazas.

En la fracción ligera, el predominio corresponde siempre a las láminas cloríticas, seguidas por los feldespatos, principalmente plagioclasas.

*Mineralogía de la fracción arcilla (tabla V)**Perfil Las Carboneras*

En la fracción inferior a 2 μ . de este perfil (figs. 6, 7 y 8) el predominio corresponde a las arcillas haloisíticas, que aumentan claramente desde el hor. A a los horizontes profundos.

Los hematites que están muy bien representados en todos los horizontes en el suelo total, al pasar a esta fracción, disminuyen en el horizonte de superficie y prácticamente desaparecen en los horizontes B y BC. Trazas de gibsita se observan en el hor. B.

En los tres horizontes se observa un efecto alrededor de 10,0 Å, que aumenta de intensidad al saturar la muestra con potasio, lo que nos indica la presencia de ilita abierta, bien representada en el horizonte de superficie y disminuyendo en profundidad (trazas en el hor. BC).

Perfil La Mina

También en este perfil, es la metahaloisita (cuyo efecto a 7,30 Å se encuentra muy abierto hacia ángulos superiores) la arcilla dominante (figs. 9, 10 y 11).

La ilita abierta aparece en proporciones mucho menores, aumentando su porcentaje en los horizontes B₂ y B₃. La misma tendencia presenta la montmorillonita que existe en proporciones trazas en todo el perfil.

TABLE IV
 Mineralogía de la fracción arena

Perfil	Piroxenos	Anfíboles	Olivinos	Titanita	Micas	Vidrio volcánico	Magnetita Ilmenita	Granos y láminas clorotizados	Feldespatos
Las Carboneras..	×	—	—	—	—	—	XXXX	XXX	0
La Mina.....	XX	×	XXXX	×	—	—	XXX	XXX	XX
Llano Negro....	XXX	XX	×	0	0	XX	XXXX	XXX	0
	—	—	—	0	XX	—	XXXX	XXX	—

XXXX Predominante
 XXX Abundante
 XX Común
 × Presente
 — Trazas
 0 Ausente

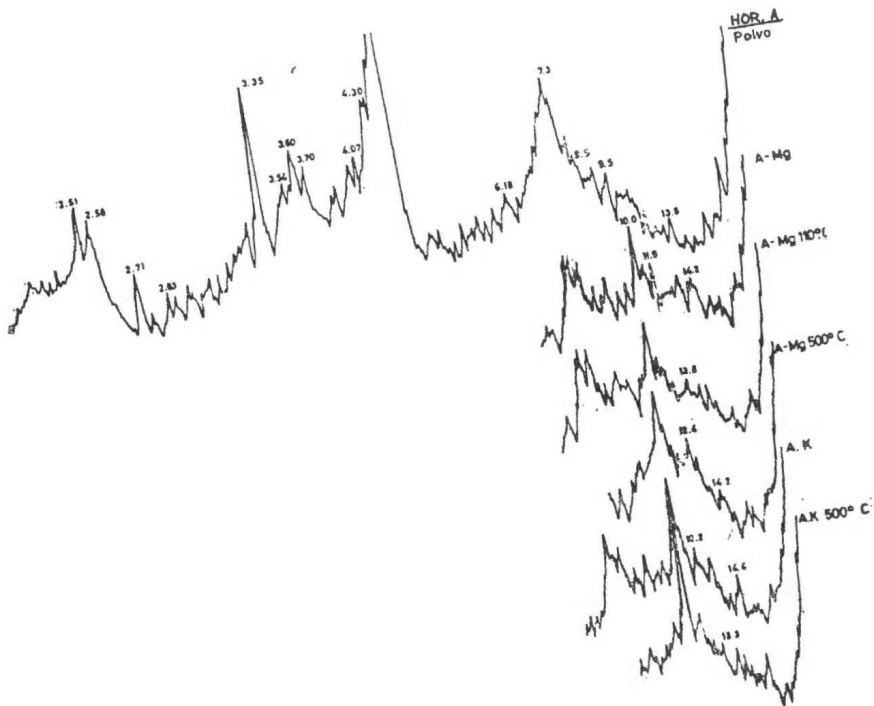


Fig. 6.—Perfil Las Carbonetas. Diagramas de rayos X fracción arcilla.

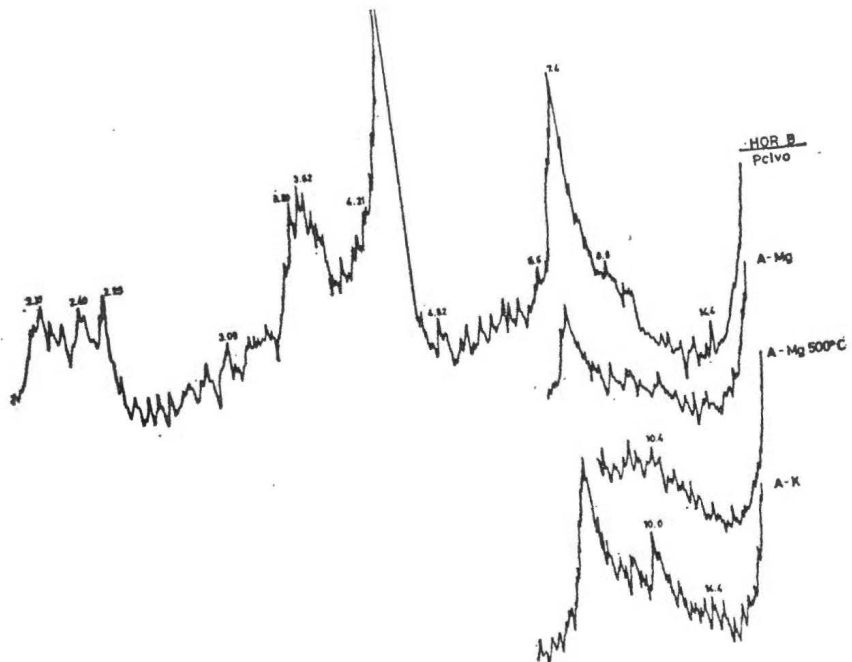


Fig. 7.—Perfil Las Carboneras. Diagramas de rayos X fracción arcilla.

TABLA V

Mineralogía de la fracción arcilla

Perfil	Haloisita-Metahaloisita	Ilita abierta (I-V ó I-M)	Montmorillonita	Caolinita	Gibbsite	Hematites
Las Carboneras..	XXXX	X	0	0	—	X
La Mina.....	XXXX	XX	—	0	—	X
Llano Negro....	XXXX	XXX	XXX	XX	—	0
	XXXX	0	0	XX	—	0

- XXXX Predominante
- XXX Abundante
- XX Común
- X Presente
- Trazas
- 0 Ausente

I-V = Interestratificados ilita-vermiculita.
 I-M = Interestratificados ilita-montmorillonita

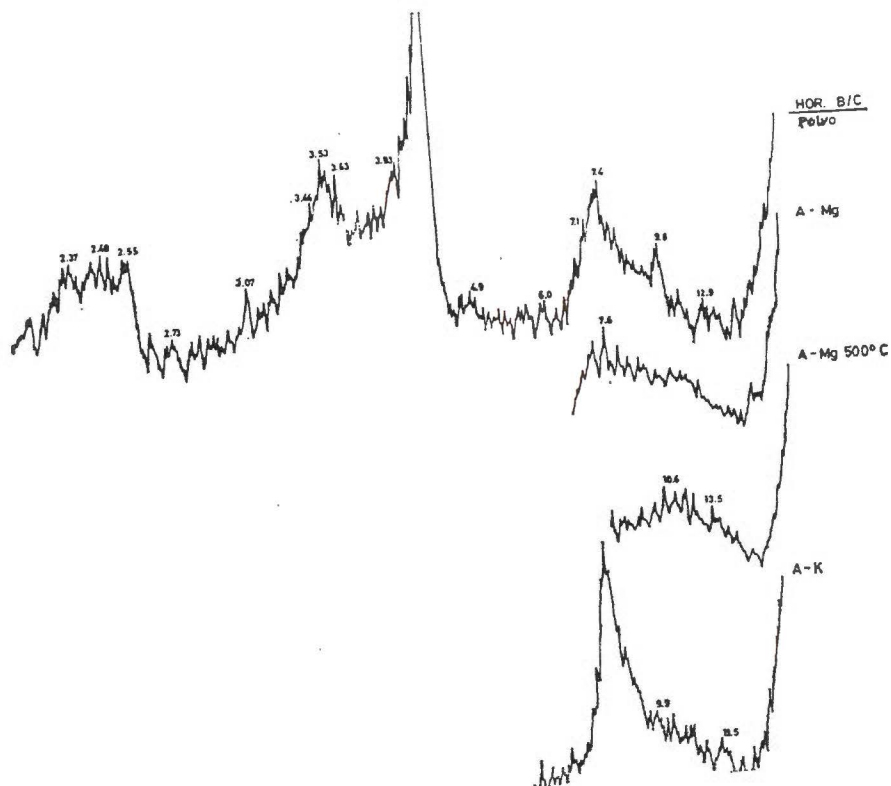


Fig. 8.—Perfil Las Carboneras. Diagramas de rayos X fracción arcilla.

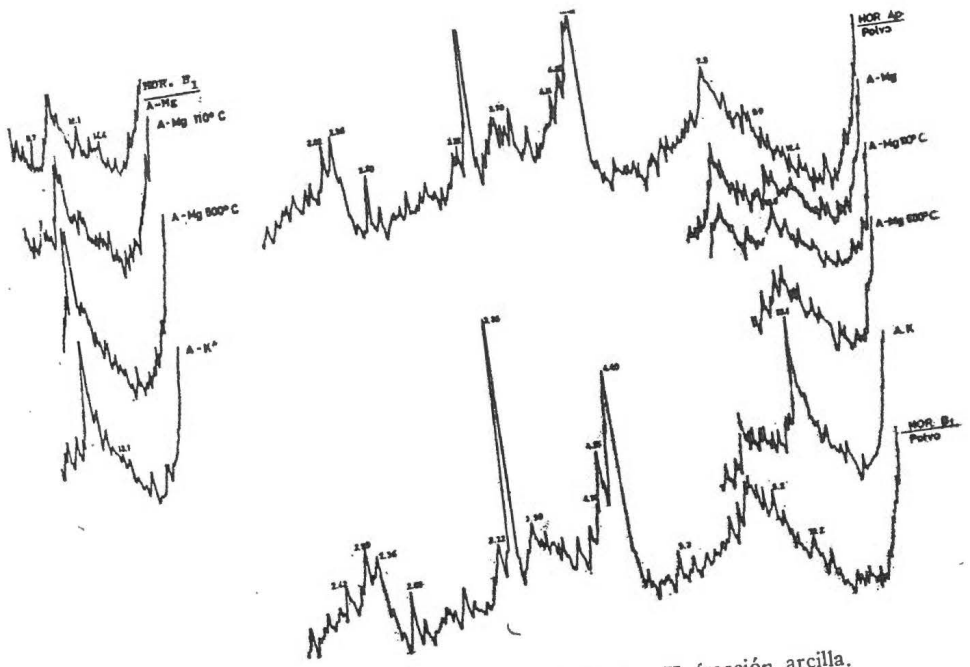


Fig. 9.—Perfil La Mina. Diagramas de rayos X fracción arcilla.

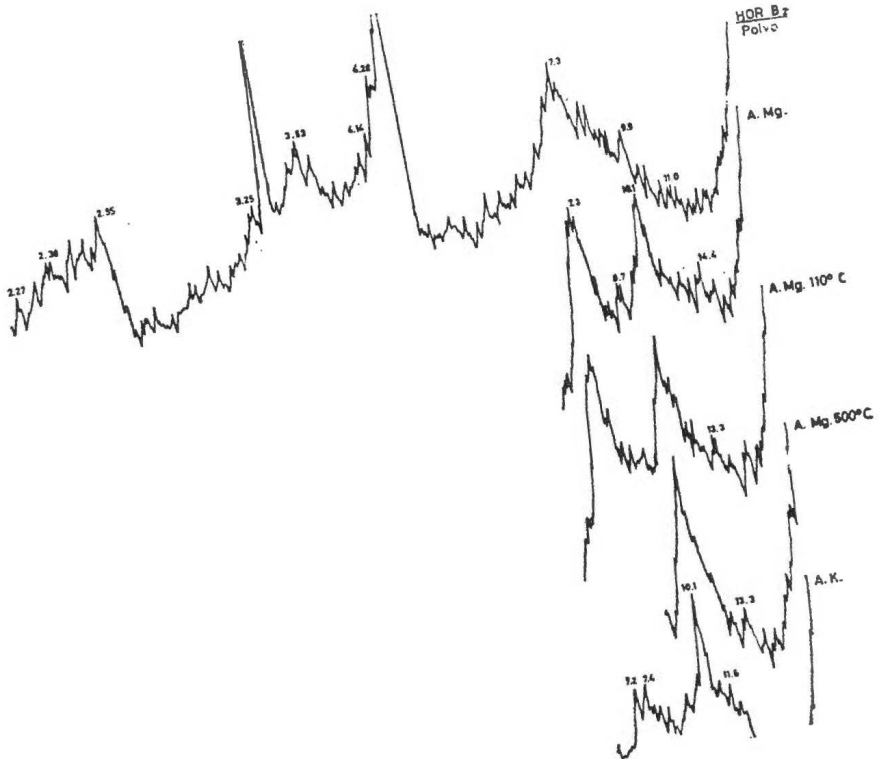


Fig. 10.—Perfil La Mina. Diagramas de rayos X fracción arcilla.

Oxidos e hidróxidos de hierro se encuentran en todos los horizontes. Los hematites abundan en los horizontes A₂, B y BC. La goethita aparece en todo el perfil y la gibsita en el hor. B₃.

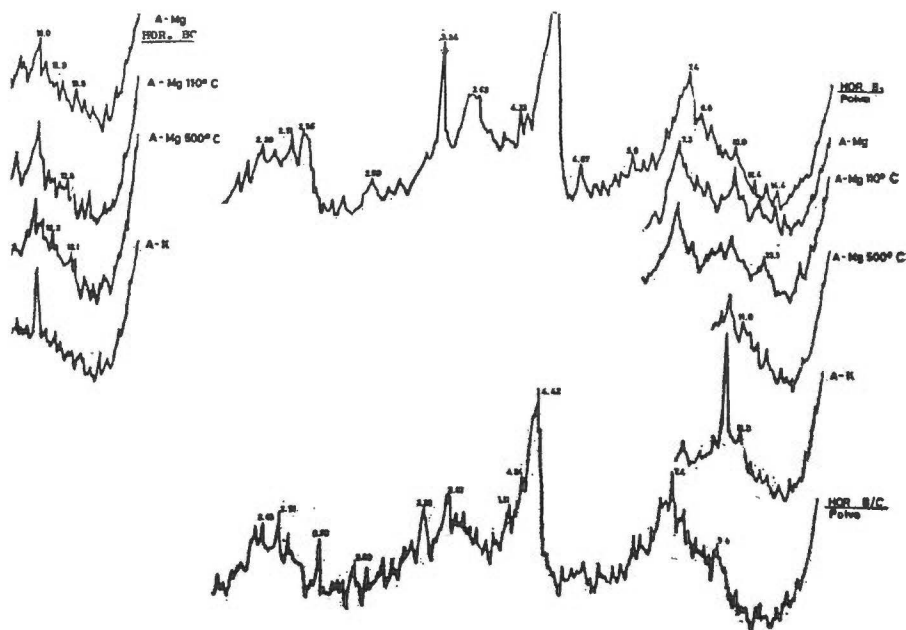


Fig. 11.—Perfil La Mina. Diagramas de rayos X fracción arcilla.

Perfil Llano Negro

Igualmente, en este perfil dominan las arcillas caoliníticas (caolinita y metahalosita).

La discontinuidad observada en la mineralogía de arenas, también se hace patente al estudiar los minerales arcillosos. Así en los horizontes A₁₂ y Transición es neta la presencia de ilita abierta y arcillas montmorilloníticas (figs. 12 y 13) que no aparecen en los horizontes profundos, constituidos casi exclusivamente por metahalosita y caolinita.

La goethita sólo se identifica en el hor. B.

CONCLUSIÓN

La mineralogía de arcillas de estos perfiles no difiere sensiblemente de la del resto de los suelos fersialíticos (A. Rodríguez et al., 1978a, c), aunque sin embargo, en este caso es más claro el predominio de la halosita-metahalosita, con escasas proporciones de ilita abierta y mont-

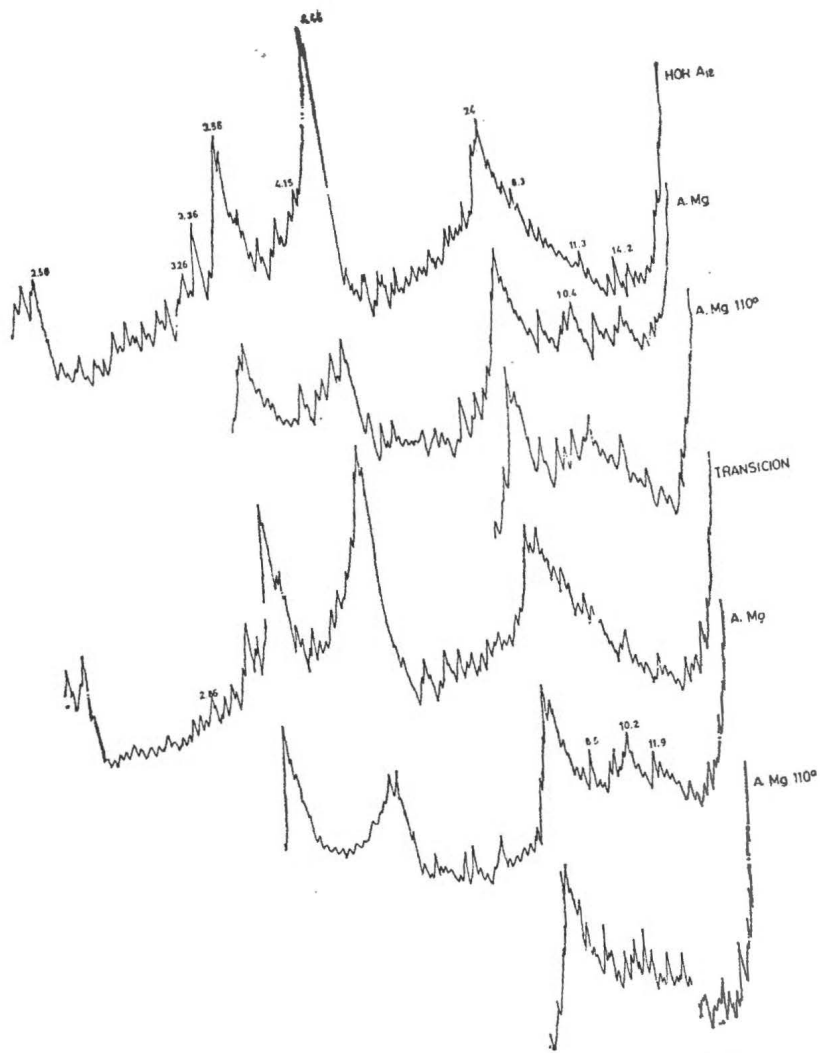


Fig. 12.—Perfil Llano Negro. Diagramas de difracción de rayos X fracción arcilla.

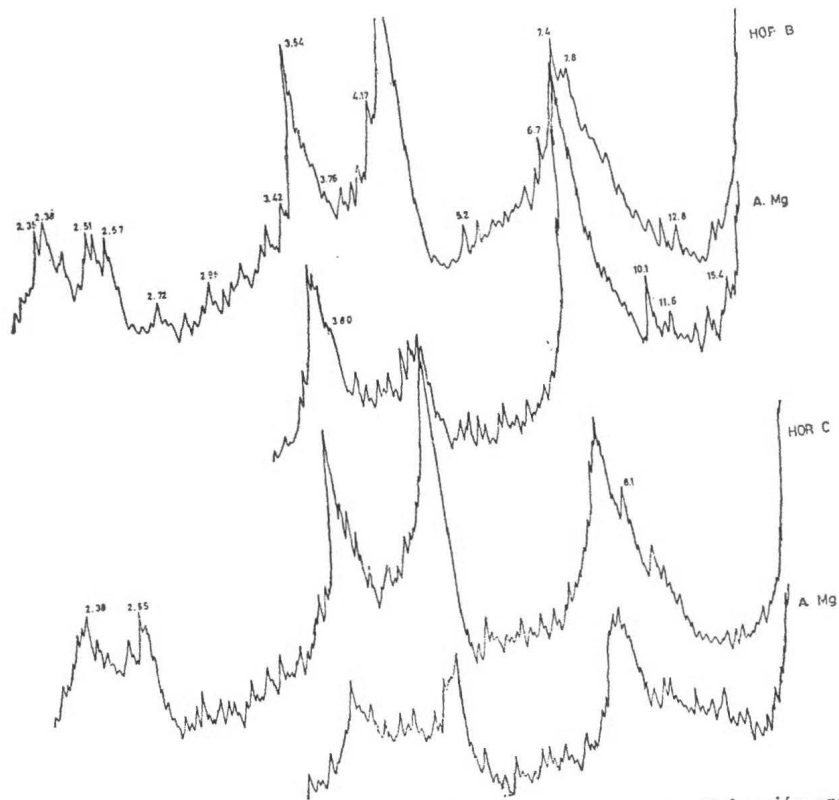


Fig. 13.—Perfil Llano Negro. Diagramas de difracción de rayos X fracción arcilla.

morillonita (sólo abundantes en la parte superior del perfil Llano Negro) (tabla V).

En los perfiles La Mina y Las Carboneras es de destacar la abundancia de hematites, procedentes de la alteración de los vidrios basálticos, así como su gran tamaño, pues prácticamente no pasan a la fracción arcilla.

La presencia de gibsita, confirma la intensa pérdida de sílice en estos suelos y señala un comienzo de individualización de la alúmina, como corresponde a suelos muy evolucionados con tendencia ferralítica.

Si bien en los niveles fonolíticos es frecuente la presencia de gibsita como consecuencia de una mayor dificultad de liberación de la sílice en estos materiales, en los suelos sobre materiales basálticos, la gibsita sólo se aprecia cuando la alteración ha alcanzado un estado muy avanzado.

RESUMEN

Se estudian las características morfológicas, físico-químicas y mineralógicas de los suelos fersialíticos desarrollados sobre lapillis basálticos ricos en vidrios, en las Islas Canarias.

Morfológicamente se diferencian de los suelos fersialíticos desarrollados sobre cenizas fonolíticas en la misma zona climática por un color más rojo, textura más limosa y estructura poco desarrollada.

Son suelos ricos en bases, sobre todo en los horizontes de alteración del lapilli, con elevados contenidos en Fe_2O_3 y TiO_2 y valores relativamente bajos de sílice, lo que indica una gran alteración y evolución geoquímica.

La mineralogía de la fracción arena muestra una alteración casi total en estos suelos, no quedando más que algunos minerales resistentes como la magnetita.

En la fracción arcilla destaca la individualización de óxidos e hidróxidos de hierro (hematites y goethita) y aluminio (gibsita), así como un claro predominio de arcillas 1:1 sobre las 2:1.

*Centro de Edafología y Biología Aplicada de Tenerife.
Universidad de La Laguna, Tenerife.*

BIBLIOGRAFÍA

- (1) ALEIXANDRE, T. y PINILLA, A. (1968). Algunas modificaciones en las técnicas aplicadas al estudio mineralógico de las fracciones gruesas o arenas. *Anales de Edaf. y Agrob.*, XXVII, 564-567.
- (2) BOWER, C. A., RETEMEIER, R. F. and FIREMAN, M. (1952). Exchangeable cation analysis of saline and alkali soils. *Soil Sci.*, 73, 251-261.
- (3) FUSTER, J. M., ARAÑA, V., BRANDLE, J. L., NAVARRO, M., ALONSO, V. y APARICIO, A. (1968). Geología y volcanología de las Islas Canarias, Tenerife. Instituto «Lucas Mallada», C. S. I. C., Madrid.
- (4) HAUSEN, H. (1956). Contribution to the geology of Tenerife (Canary Islands). *Tennica*, XVIII, Helsingfors.
- (5) HIDALGO, A. y SERRATOSA, J. M. (1955). Espectros de absorción infrarroja de minerales de la arcilla obtenidos mediante la técnica de comprimidos de BrK. *Anales de Edaf. y Agrob.*, 269-292.
- (6) KILMER, V. J. and ALEXANDER, L. J. (1949). Methods of making mechanical analysis of soils. *Soil Sci.*, 68, 15-24.
- (7) MEHRA, O. F. and JACKSON, M. L. (1960). Iron oxides removal from soils and clays by dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. *Clays and clay minerals*, 7, 317-327.

- (8) PEDRO, G. (1968). Notes sur le type d'altération superficielle caractérisant les projections volcaniques récents du Puy de la Vache (Masiff Central). Conséquences géochimiques. Bull. Ass. Fr. Et. Sol, 3, 17-20.
- (9) QUANTIN, P. (1976). Sols des Nouvelles-Hébrides. ORSTOM, Paris, 43.
- (10) RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ, A., TEJEDOR, M. L. y FERNÁNDEZ CALDAS, E. (1978a). Características generales de los suelos fersialíticos de las Islas Canarias. Anales de Edaf. y Agrob., Tomo XXXVIII, núms. 7-8, 1979.
- (11) RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ, A., TEJEDOR, M. L. y FERNÁNDEZ CALDAS, E. (1979). Suelos fersialíticos sobre cenizas volcánicas. I. Características morfológicas y físico-químicas. Anales de Edaf. y Agrob., XXXVIII, 1607-1624.
- (12) RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ, A., TEJEDOR, M. L. y FERNÁNDEZ CALDAS, E. (1978c). Suelos fersialíticos sobre cenizas volcánicas. II. Características mineralógicas. Anales de Edaf. y Agrob., XXXVIII, 1625-1639.
- (13) RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ, A., FEDOROFF, N., TEJEDOR, M. L. y FERNÁNDEZ CALDAS, E. (1978d). Suelos fersialíticos sobre cenizas volcánicas. III. Características micromorfológicas. Interpretación y clasificación. Anales de Edaf. y Agrob. (En prensa.)
- (14) TERCINIER, G. et QUANTIN, P. (1968). Influence de l'altération de cendres et ponces volcaniques d'âge récent sur la nature, les propriétés et la fertilité des sols aux Nouvelles-Hébrides. Cah. ORSTOM, Sér. Pédol., VI, 2, 203-224.
- (15) WALKLEY, A. and BLACK, I. A. (1935). An examination of a rapid method for determining organic carbon and nitrogen in soils. Jour. Agri. Sci., 25, 598-609.
- (16) XIMÉNEZ HERRAÍZ, L. (1975). Disolución rápida de muestras con un reactor a presión. Afinidad, XXXII (326), 391-394.

Recibido para publicación: 8-IV-78

APROXIMACION A UN MEJOR CONOCIMIENTO EDAFICO DE LAS ZONAS DE CONTACTO PALEOZOICO-MIOCENO DE LOS MONTES ISLAS (TOLEDO)

por

R. JIMENEZ BALLESTA *, C. VIZCAYNO MUÑOZ * y M. PEREZ MELERO **

SUMMARY

APPROXIMATION TO A BETTER PEDOLOGICAL ACKNOWLEDGMENT OF THE PALEOZOIC-MIOCENE CONTACT OF INSELBERG (TOLEDO)

The term inselberg has been used to denote a wide variety of erosional features including tors or koppies, mesas and buttes. Inselbergs are isolated hills that result of degradational processes that have reduced previously more extensive mountain mass to erosional remnants.

The purpose of this paper is twofold, one to study the pedological formations and the other to correlate them with the different geomorphological elements, between two inselbergs of the central region of Spain. These inselbergs show difference in joint density and also difference in resistance between the adjacent piedmont and the own inselbergs. Also residual rock masses differ litologically surrounding rocks.

The authors found a close correlation between the soils and the different geomorphological forms.

INTRODUCCIÓN

No cabe la menor duda de que el problema de los suelos sobre materiales carbonatados constituye uno de los grandes puntos en los que la controversia se pone de manifiesto frecuentemente. Más allá está el problema de aquellas formaciones que se han originado con el signo inicial de materiales calizos y que en el transcurso del tiempo han ido sufriendo la acción de nuevos aportes, a través de uno o varios ciclos distintos en naturaleza al de dichos materiales.

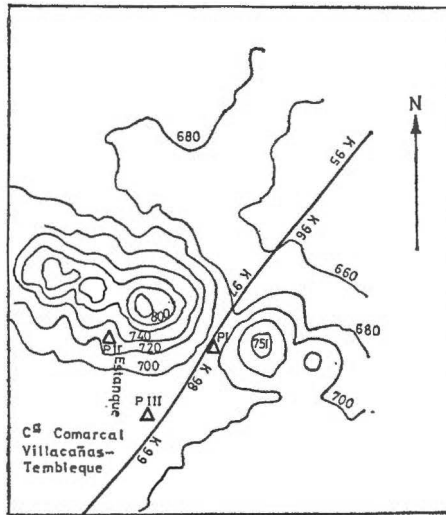
Se asiste hoy día a una colaboración particularmente acentuada entre geomorfólogos y edafólogos. Por citar algún ejemplo Tricart y Michel (1965) trabajaron juntos bajo esta doble vertiente, señalando que la edafogénesis es más rápida que la morfogénesis y que la vegetación se modifica de un modo más rápido que los suelos, indicando finalmente la necesidad de conocer el cuadro geomorfológico.

Bajo el término de monte isla se conoce un tipo de relieve residual

* Instituto de Edafología y Biología Vegetal. Madrid.

** Facultad de Ciencias. Universidad Autónoma. Madrid.

que ha sido objeto de numerosas discusiones, en especial desde el punto de vista geomorfológico. En un principio se consideró a estos montes islas como propios de regiones tropicales (Bornhardt, 1900) o como productos de una fuerte alteración química (Thomas, 1965). Otros consideran más importante el control estructural, Tricart y Cailleux (1966). Twidale en 1971 considera fundamental la diferencia de densidad, seguida por el tipo de alteración. Kesel (1973) tras analizar la distribución de los montes islas sugiere que no debe ser considerado el clima un factor de predisposición, aunque sí favorable. También señala este mismo autor la poca correlación existente entre el monte isla y la edad de la roca en la que se encuentra; la roca tiene una naturaleza más resistente que el piedemonte adyacente.



MAPA ESQUEMATICO DE LA ZONA

680	ALTITUD
~	CURVAS DE NIVEL
—	CARRETERA
△	SITUACION DE PERFILES
K 95	KILOMETROS

Fig. 1

Pensamos que aún queda un poco alejado el campo entre geomorfológicos y edafólogos, aunque es cierto que cada vez nos vamos acercando más. Acaso estemos en esa idea y con el presente trabajo queremos facilitar una mayor comprensión en un área que con las anteriores premisas reúnen especiales características conjuntas.

El área de estudio está situada entre dos montes islas que se sitúan entre los kilómetros 96-99 (a ambos lados de la carretera) que va de Villacañas a Tembleque, constituida en su base por cuarcitas paleozoicas (Silúricas), que se ponen en contacto con un terciario constituido a base

de margas y arcillas (Mioceno). Estos terrenos se citan, como hemos indicado, como montes islas, prolongación hacia el noreste de los Montes de Toledo, estudiados por numerosos autores.

CURVAS TERMOPLUVIOMETRICAS Y CLIMATOGRAMAS

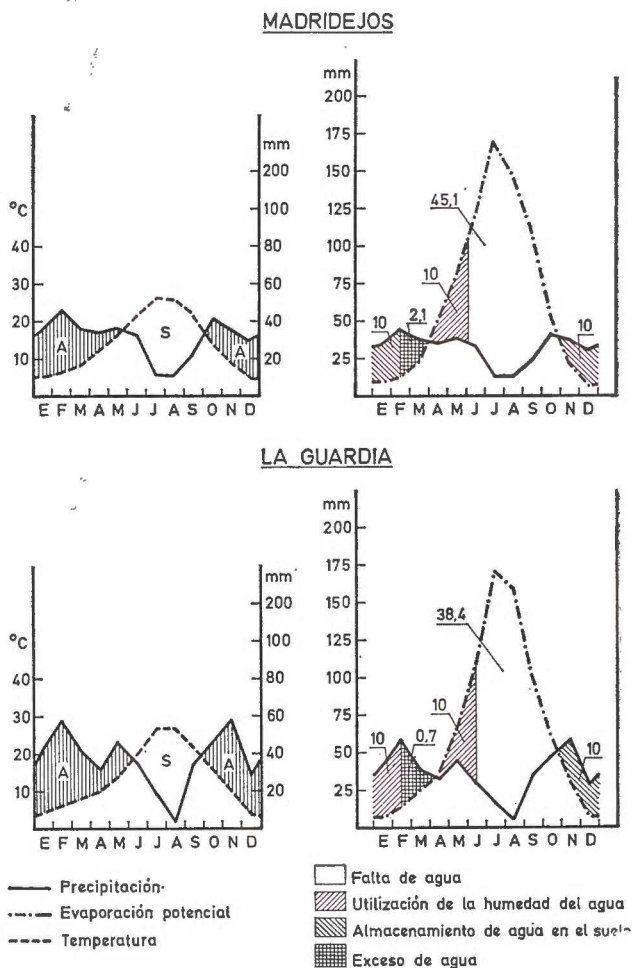


Fig. 2

En consecuencia, en la zona tenemos cuarcitas, cuyo afloramiento se debe a movimientos hercínicos. Parece ser que los mares secundarios no llegaron a esta zona, mientras que otros materiales, si se depositaron posteriormente, fueron desapareciendo por la erosión, en la que se cree tuvo un importante papel una cuenca fluvial que recorriendo desde Altomira se extendía hasta el paleozoico de Toledo. El Mio-

ceno que recubre la zona cuarcítica está constituido en el caso que nos ocupa, por una masa arcillosa que contiene a veces, grandes proporciones de carbonatos, correspondiendo a una fase de sedimentación tranquila, de carácter eminentemente químico. Este horizonte o capa Miocena tiene diferencias de espesor correspondientes a cambios topográficos. Parece ser que los terrenos paleozoicos están pues muy movidos, mientras que los Miocénicos lo están poco, apareciendo éstos llanos.

Desde el punto de vista climático, hemos estudiado las estaciones de La Guardia y Madrideojos, por ser las más completas y cercanas a la zona. La clasificación atendiendo al índice de Thornthwaite es *semi-árida*, siendo muy semejante en toda la zona, como se observa en las dos estaciones estudiadas (La Guardia DdB'₂a' y Madrideojos DdB'₂a') (figura 2).

Los valores pluviométricos son bastante bajos, sobre unos 400 mm anuales, por otra parte muy irregularmente distribuidos, mostrando un mínimo en los meses veraniegos, precisamente cuando la evapotranspiración potencial es máxima. Solo hay pequeños excesos de agua en los meses de febrero y marzo según se deduce del balance hídrico realizado, mientras que existe déficit en los meses de junio, julio, agosto y septiembre, cuando las temperaturas son más elevadas; en este sentido hay que resaltar que se llegan a alcanzar valores medios de 27° C. La amplitud térmica es pues muy elevada, propia de una zona típicamente continental.

M E T O D O L O G Í A

Se han tomado y descrito 3 perfiles diferentemente representativos, uno en la zona elevada del monte hasta donde llegan los carbonatos, en donde el espesor es lógicamente pequeño, correspondiendo a uno de los puntos máximos de alcance de material miocénico; otro a una cota de unos 25 metros más baja que el anterior, correspondiendo al fondo casi del microvalle del monte isla por donde debieron discurrir los materiales eminentemente calizos; y el tercero algo alejado de éstos, propio ya de los materiales eminentemente calizos, con escasa o nula influencia de las cuarcitas, tanto en su base como en su superficie.

La descripción se realizó según las normas establecidas por la FAO, mientras que los métodos físico-químicos y mineralógicos utilizados han sido los usuales en el Instituto de Edafología y Biología Vegetal de Madrid J. M. Albareda.

P A R T E E X P E R I M E N T A L

Perfil I

Clasificación general: Suelo Pardo Calizo.

Localidad: Villacañas.

Situación: Km. 97,4 de la carretera de Villacañas a Tembleque.

Topografía: ladera de un monte isla.

Forma del terreno circundante: llano a alomado.

Altitud: 689 m.

Orientación: norte.

Vegetación: aromáticas.
 Uso: monte bajo en tránsito a agrícola.
 Material originario: sedimentos calizos terciarios muy arcillosos.

Drenaje: moderado.
 Erosión: moderada.
 Influencia humana: apreciable.

Prof. (cm.)	Horiz.	Descripción
0-15	A ₁	Color pardo oscuro 7,5 YR 4/4. De estructura débil en bloques subangulares tendiendo a granular fina, es ligeramente adherente y duro, mostrando abundantes raíces finas y algunas medianas; es muy poroso. Es de destacar que muestra pedregosidad (10 por 100) como producto del coluvionamiento de las cuarcitas situadas a cota superior.
15-30	B ₂	Color pardo 7,5 YR 5/4. Presenta una débil estructura de carácter fino, siendo ligeramente adherente como el superior, algo firme, en el que aún persisten abundantes raíces finas; muestra también cierto grado de pedregosidad.
+ 30	Cca	Color rosado a pardo 7,5 YR 7/4, de estructura fuerte en bloques subangulares, sin raíces, muestra cierta consistencia. Puede decirse que se trata de una caliza pulverulenta blanda, en donde apenas hay pedregosidad a diferencia de los horizontes superiores.

Observaciones: el perfil está situado en la parte baja de la forma convexa de la zona de estudio, en cuyo fondo debe estar relativamente cerca la base cuarcítica.

Perfil II

Clasificación general: Suelo Pardo Calizo.
 Localidad: Villacañas.
 Situación: en la ladera NO de Cerro Corrales, cerca del anterior.
 Topografía: colinada, algo más arriba que el anterior, en plena ladera.
 Forma del terreno circundante: por un lado llano y por otra la propia de monte.
 Altitud: 720 m.

Orientación: oeste.
 Vegetación: aromáticos en gran profusión.
 Uso: monte bajo.
 Material originario: sedimentos carbonatados que se encuentran sobre cuarcitas.
 Drenaje: externo rápido, interno medio.
 Erosión: relativamente considerable.
 Influencia humana: escasa.

Prof. (cm.)	Horiz.	Descripción
0-10	A ₁	Color pardo rojizo oscuro 5 YR 3/4, presenta una estructura fuerte en bloques subangulares, de un tamaño mediano, siendo ligeramente adherente, muy firme y con fuerte pedregosidad (30 por 100).
10-25	B ₂	Color amarillo rojizo 5 YR 4/6, de fuerte estructura, en bloques subangulares, siendo ligeramente adherente, firme a duro. Muestra cutanes discontinuos. Es también muy pedregoso (25 por 100).
+ 25	Cca	Color pardo amarillo. Se trata de una acumulación de carbonatos, de la que hay que resaltar el hecho de que de un modo discontinuo está atravesada por cuarcitas, de tal manera que a veces se encuentra arriba de la misma y otras abajo.

Perfil III

Clasificación general: Regosuelo.

Uso: agrícola.

Localidad: Villacañas.

Material originario: sedimentos margosos.

Situación: en el Km. 96 de la carretera de Villacañas a Tembleque.

Drenaje: medio.

Topografía: llana.

Erosión: especialmente acelerada por el hombre.

Forma del terreno circundante: llano.

Altitud: 660 m.

Influencia humana: elevada.

Orientación: suroeste.

Prof. (cm.)	Horiz.	Descripción
0-20	A ₁	Color pálido pardusco 10 YR 7/4, con una estructura débil que se rompe fácilmente, subangular, fina, sin consistencia por tanto, mostrando frecuentes raíces finas; poco pedregoso comparado con los perfiles anteriores. Límite difuso.
20-70	C	Color algo más pálido 10 YR 7/3, de menor estructura, sin apenas consistencia, blando, sin apenas raíces y sin casi pedregosidad. Límite con la roca madre difuso.
+ 70	R	Sedimentos margosos muy friables.

RESULTADOS ANALÍTICOS Y DISCUSIÓN

Análisis granulométrico

Hor.	Ar. gruesa 2 — 0,2 mm	Ar. fina 0,2 — 0,05 mm	Ar. total 2 — 0,05 mm	Lim o 0,05 — 0,002 mm	Arcilla < 0,002 mm	Clas. text. (Amer.)
<i>Perfil I</i>						
A ₁	5,99	24,65	30,65	40,22	29,12	F - Ac
B ₂	7,14	25,58	32,72	34,17	33,10	F - Ac
Cca	13,77	21,70	35,42	45,03	19,53	F - Ac - Ar
<i>Perfil II</i>						
A ₁	9,83	33,13	42,52	26,97	30,05	F - Ac
B ₂	10,86	23,00	34,47	28,19	37,32	F - Ac
Cca	6,64	17,07	23,72	40,23	36,04	F - Ac
<i>Perfil III</i>						
A ₁	8,94	30,97	39,92	38,37	21,69	F
C	7,78	31,05	38,84	37,99	23,16	F

Hor.	CO ₂ Ca %	pH		Cond. mmhos/cm a 25 °C	M. O. %	C, O. %	T	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na+	K+	S	V %
		H ₂ O	ClK										
<i>Perfil I</i>													
A ₁	16,9	8,0	7,3	1,224	4,1	2,3	26,25	23,6	1,75	0,02	0,66	26,03	100
B ₂	25,0	8,0	7,1	0,744	2,1	1,2	22,50	21,2	0,93	0,04	0,18	23,35	100
Cca	79,2	8,0	7,6	0,660	1,0	0,5	12,00	10,7	0,15	0,03	0,04	11,92	100
<i>Perfil II</i>													
A ₁	0,2	7,6	6,7	0,660	2,9	1,6	23,00	20,7	1,03	0,02	0,27	22,00	100
B ₂	3,5	7,7	6,8	0,667	2,1	1,2	24,50	23,0	1,34	0,04	0,17	24,50	100
Cca	29,9	8,2	7,2	0,667	1,9	1,0	21,50	20,0	0,82	0,02	0,11	21,30	100
<i>Perfil III</i>													
A ₁	48,4	7,9	7,3	1,31	1,1	0,5	13,00	12,2	0,26	0,02	0,27	12,80	100
C	49,4	7,8	7,3	1,85	0,9	0,5	13,00	12,6	0,21	0,04	0,09	12,90	100

Hor.	Fe ₂ O ₃ T %	Fe ₂ O ₃ L %	Fe ₂ O ₃ L/T x 100	Al ₂ O ₃ T %	Al ₂ O ₃ L %	Al ₂ O ₃ L/T x 100
<i>Perfil I</i>						
A ₁	2,34	0,95	40,60	3,58	0,43	12,01
B ₂	2,44	1,02	41,80	3,83	0,47	12,27
Cca	0,87	0,14	20,89	1,16	0,07	6,03
<i>Perfil II</i>						
A ₁	2,80	1,45	51,79	4,56	0,53	11,62
B ₂	2,91	1,45	49,83	4,22	0,59	13,98
Cca	1,91	0,85	44,50	2,49	0,39	11,17
<i>Perfil III</i>						
A ₁	1,02	0,28	27,45	1,60	0,17	10,63
C	1,10	0,28	25,45	1,89	0,16	8,46

Aun cuando serán objeto de trabajos aparte, se ha separado la fracción arena así como la arcilla para su análisis y estudio. Mediante bromoformo se han separado dentro de la arena la fracción pesada de la ligera. De un modo general se puede destacar que son mucho más abundantes los granos de minerales opacos que los transparentes. Dentro de estos últimos la mayor parte son de alteración, estando la magnetita presente. Dentro de los transparentes domina el circón en todos los horizontes, presentando en su mayor parte esos granos, un grado de redondeamiento muy acusado. Por otra parte es digno de mencionar diferencias entre unos horizontes y otros, tanto en porcentaje como en la forma del grano. Tras el circón que es la forma dominante, se encuentran granates, minerales de titanio (rutilo, titanita, anatasa y brooquita), turmalina, epidota, andalucita, estaurolita, monacita y piroxenos. Las alteritas, minerales difícilmente reconocibles por su alteración, abundan más en los horizontes profundos.

En cuanto a la fracción arcilla se refiere, que también será objeto de un trabajo detallado aparte, nos encontramos con minerales del grupo de la mica, caolín y feldespatos. La mica en su mayoría es de tipo ilítico. En los horizontes superiores A₁ de los perfiles I y II aparece cuarzo. Se demuestra la presencia de montmorillonita en los horizontes B₂ y más especialmente en los C. Además este enriquecimiento es mayor en el perfil III que en el II y de éste que en el I.

De acuerdo con los resultados analíticos del perfil I, encontramos que a lo largo del mismo hay una proporción uniforme entre las distintas fracciones, existiendo un ligero aumento de la fracción arcilla en el horizonte B₂ que sin embargo no es suficiente para calificarlo como de carácter B textural; es preciso no obstante indicar en este punto que este hecho es factible en otras zonas de estos mismos mon-

tes islas. Recordemos que gran proporción de nuestros suelos rojos frecuentemente se adosan a las elevaciones paleozoicas. Claramente se pone de manifiesto una acumulación de carbonatos hacia los horizontes inferiores. Por otra parte, los datos correspondientes al pH tienen una similitud de 8,0 en todos los horizontes. Las proporciones de los óxidos libres, tanto del Fe como del Al muestran una mayor liberación en el horizonte B₂, si bien es cierto que para el Fe es más notorio. La menor proporción de libres/totales se cifra en el horizonte C. La capacidad de cambio es más elevada en el horizonte superior (más del doble) que en el inferior debido a su mayor proporción de materia orgánica. El Ca²⁺ es el catión saturante principal, estando totalmente saturados todos los horizontes.

En lo concerniente al perfil II, cabe resaltar una mayor uniformidad textural en todo el perfil (clasificado en todos los horizontes como franco-arcilloso), aunque también el horizonte B₂ como en el caso del anterior tenga más arcilla, si bien, la diferencia es menor. Por su situación, en una cota más elevada, el coluviamiento es aún más factible y como consecuencia se originan notables diferencias cuantitativas en el contenido de carbonatos. Así, el horizonte superior prácticamente está descarbonatado, el inferior se manifiesta como un verdadero horizonte de acumulación, mientras que el B₂ tiene escaso contenido; es preciso indicar que no se trata de un proceso de lavado vertical, ya que en nuestra opinión estaríamos ante cualquiera de los suelos que ya tienen horizonte B de carácter B textural, con posibilidad de sufrir un proceso de rubefacción, cosa que aún no se encuentra. Los valores de pH tienden a aumentar en profundidad, denotando esa diferencia entre el origen del material en la parte superior e inferior del perfil. Las capacidades de cambio son similares en el perfil, algo mayor en el horizonte B₂, siendo el Ca²⁺, como en el perfil anterior, el catión saturante fundamental. Está totalmente saturado. La diferencia entre las relaciones de óxidos libres/totales son mínimas entre horizontes.

Del perfil III es preciso resaltar la clara similitud entre ambos horizontes, tanto en cuanto se refiere al análisis mecánico, como carbonatos, pH, etc. Digamos que éste puede ser el perfil que representa al suelo más próximo al material originario carbonatado. Este perfil, en el área más alejada del monte isla sólo muestra una capa más o menos pedregosa superficial de cuarcitas, pero prácticamente nada más. A medida que nos acercamos a la masa rocosa, esta proporción aumenta e inclusive toma caracteres peculiares como en el caso del perfil II.

Desde el punto de vista de clasificación, atendiendo a la taxonomía FAO debemos clasificar al suelo del perfil I y al del II como cambisoles cálcicos, mientras el del perfil III como Regosol calcáreo. Según la Soil Taxonomy tanto el perfil I como el II quedan de un modo idéntico, como Xerochrept Calcixerólicos, mientras que el perfil III queda como Xerorthent típico.

DISCUSIÓN GENERAL

En la introducción del presente trabajo indicábamos que se trataba de investigar la constitución y desarrollo de las formaciones edáficas

más frecuentes en el contacto Paleozoico-Mioceno, de los denominados Montes Islas, los cuales se presentan con unas características particulares en la región central española y más concretamente en las provincias de Toledo y Ciudad Real.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos, es evidente una correlación entre suelos y elementos geomorfológicos; en efecto en el *pie-demonte* o extensión basal alrededor del monte son frecuentes los suelos de escasa evolución, con un perfil de tipo A/C, carbonatados en toda su extensión, moderadamente básicos, con una capacidad de cambio de unos 15 meq/100 g., totalmente saturados y toda una serie de características muy similares en todo el perfil. Estos son los Regosuelos calizos sin apenas evolución, debido tanto a la naturaleza del material originario claramente carbonatado y al clima de amplio período estival xerofítico; estos suelos se conocen en la taxonomía americana a nivel de gran grupo como Xerorthents, mientras en la FAO se les conoce como Regosol Cálculo. Por el contrario en el *pediment* predominan suelos con morfología A/B/C, de mayor desarrollo que muestran por una parte caracteres de los de la zona anterior y por otra los de influencia de los efectos de coluvionamiento; así los horizontes superiores son de carácter neutro, mientras que en profundidad tienden a ser moderadamente básicos, los colores son más rojizos en superficie, así como la capacidad de cambio es mayor; granulométricamente también son distintos en superficie que en profundidad y lo mismo ocurre con los contenidos de Fe y Al así como los constituyentes de la arcilla, tanto más montmorillonítica cuanto más profundo. Se forman horizontes de acumulación de carbonatos, dando una morfología en estos casos de tipo A/B/Cca. Estos suelos se conocen como Suelos Pardos Calizos, que en la Soil Taxonomy quedan como Xerochrepts, mientras que en la taxonomía de la FAO son Cambisol Cálculo. En la zona de la superficie tapiz coluvial toma su máxima intensidad la influencia de la fase pedregosa de tal manera que aparecen suelos como los anteriores pero con diferencias mucho más notables entre la superficie y la profundidad, a cuyos suelos se unen otros de mayor evolución, Suelos Rojos con horizonte B de carácter textural y también otros de menor evolución que son los Litosuelos, propios estos últimos de la roca coherente y dura. Finalmente junto al lecho rocoso, los Litosuelos silíceos son los que predominan.

Común a todos los perfiles y por tanto a todas las zonas separadas desde el punto de vista mineralógico, es la mayor abundancia de opacos frente a los transparentes, siendo de estos últimos la mayor parte de alteración. Asimismo se señala un mayor contenido de arcilla en los horizontes inferiores y tanto mayor cuanto nos alejamos más de la zona de contacto y en definitiva del Monte Isla.

Desde el punto de vista evolutivo, una vez más se pone de manifiesto que la presencia del carbonato cálcico ejerce una considerable influencia en el proceso formativo de los suelos, de manera que desempeña un importante papel de retención, de contrapeso a los procesos de evolución. Esto está unido a la geomorfología típica de los montes y en concreto del que nos ocupa, todo lo cual hace tomar al clima un segundo plano. Ahora bien, la descarbonatación, como es el caso de uno de los perfiles estudiados, está favorecida en tanto en

cuanto los mismos horizontes superiores, a priori, no lo están. Por ello la tendencia hacia formas de evolución más acusada está ocasionalmente favorecida, lo que se comprueba especialmente en otros montes islas. Por eso a veces se encuentran suelos policíclicos, al contrario del caso que nos ocupa que son normalmente postglaciares, monocíclicos, muy recientes, en congruencia con la cantidad y naturaleza de las arcillas, las cuales varían en función del microclima interno del suelo, de la microtopografía y de las concentraciones de los iones disueltos.

CONCLUSIONES

Es evidente la existencia de una correlación entre los suelos y los distintos elementos geomorfológicos; así en el *pedimonte* son frecuentes los suelos de escasa evolución del tipo Regosuelo sin apenas evolución; en el *pediment* tienden a manifestarse suelos más evolucionados aunque moderadamente desarrollados, tipo Suelo Pardo Calizo; en la zona del tapiz coluvial la intensidad de coluvionamiento es pronunciada y a los suelos se superpone una fase pedregosa, lo cual imprime unos caracteres peculiares en especial superficialmente, de manera que aparecen junto a los anteriores Suelos Pardos Calizos, suelos de mayor evolución en los que la rubefacción parece ser un proceso fundamental, con la formación de horizonte B textural de intenso color rojo, tanto más cuanto más arriba del perfil. Junto a éstos también hay de menor evolución. Finalmente en el lecho rocoso predominan los Litosuelos de carácter silíceo.

Es común a todos los suelos la mayor abundancia de opacos frente a los transparentes, siendo la mayor parte de estos últimos de alteración. Asimismo, se encuentra un mayor porcentaje de arcilla en los horizontes inferiores.

La formación de especies más evolucionadas están solo localmente favorecidas y como consecuencia de la interacción de materiales ácidos-carbonatados. Predominan los suelos poco desarrollados, jóvenes, muy recientes.

Agradecimientos

A las Srtas. Elvira Castro y Margarita Pérez y a D. Juan García-Vaquero por su colaboración.

RESUMEN

Bajo el nombre de Monte Isla se conoce una amplia variedad de formas erosionadas. Estos montes resultan de procesos de degradación, que han reducido una extensa masa montañosa a remanentes residuales.

Los objetivos de este trabajo son por una parte estudiar las distintas formaciones edáficas, para lo cual se han tomado y analizado las muestras de tres perfiles, y por otra correlacionar éstos con las diferentes formas morfológicas, encontrándose una clara correlación entre ellos.

BIBLIOGRAFÍA

- ALIA MEDINA, M. (1945). El plioceno en la comarca Toledana y el origen de la región de la Sagra. *Est. Geográficos*, núm. 8, 203-240.
- APARICIO, I. (1971). Estudio geológico del macizo cristalino de Toledo. *Est. Geológicos*, 27, 369-414.
- BIROT, P. (1951). Sobre un rasgo morfológico paradójico de los macizos cristalinos de la cordillera central ibérica. *Est. Geográficos*, núm. 12, 807-813.
- BIROT, P. (1954). Investigaciones sobre morfología de la cordillera central española. C. S. I. C. Juan Sebastián Elcano, 87.
- BORNHARDT, W. (1900). *Zur Oberflächengestaltung und geologie Deutsch-Ostafrikas*. Berlín.
- BRINKMANN, R. (1932). Las montañas fósiles, especialmente en España. *Bol. Soc. Geogr. Nac.*, tomo 72, núm. 7, 387-410.
- BROWN, G. (1961). The X ray identification and crystal structures of clay minerals. *Mineralogical society*.
- COTTON, C. A. (1962). Plains and inselberg of the humid tropics. *Trans. of the Roy. Soc. New Zealand. Geology*, núm. 1, 269-277.
- DERRUAU, M. (1966). *Geomorfología*. Ariel.
- DRESCH, J. (1957). Pediments et glaciaires d'érosion, pediplaines et inselbergs. *L'Inform. Geogr.*, 21, 133-196.
- FAO. Guía para la descripción de perfiles de suelos.
- FAO/UNESCO (1968). *Definitions of the unit soils for the soil map of the world. World soils resources reports*. Roma.
- GARCÍA VICENTE, J. (1951). Estructura cristalina de los minerales de la arcilla. *Monografía de Ciencias Modernas del C. S. I. C.*
- GUERRA, A. (1970). Morphology and development of calcareous soils under semiarid-mediterranean climatic. *Inst. Geo. Stu. Tech. si écouser. G. Ped.*, 18, 465-475.
- KESEL, R. H. (1973). Inselberg landform elements: definition and synthesis. *Revue de Geomorphologie Dynamique*. XXII, 97-108.
- KUBIENA (1952). *Claves sistemáticas de suelos*. C. S. I. C.
- MUÑOZ, J. J. (1976). *Los Montes de Toledo*. Dto. Geografía. Universidad de Oviedo. Inst. Elcano. Tesis.
- SOIL TAXONOMY (1973). *A basic system of soil classification for making and interpreting: soil survey*. U. S. D. A. Soil Conservation Service.
- THOMAS, M. F. (1965). Some aspects of the geomorphology of domes and tors in Nigeria. *Zeit. fur Geomorphologie*, 9, 63-81.
- TRICART, J., CAILLEUX, A. (1966). *Le modele des regions seches*. París. Centre de Documentation Universitaire.
- TRICART, J., MICHEL (1965). Morphogenese et pedogenese. I. Approche méthodologique: geomorphologie et pedologie. *Science on Sol*, núm. 1, 69-85.
- TWIDALE, C. R., BOURNE, J. A. (1975). Reflexions a propos de l'article de R. H. *Rev. Geom. Dynam.* XXIV, núm. 2, 65-71.
- WHITE, W. A. (1945). Origin of granite domes in the southeastern Piedmont. *Jour. Geol.*, 53, 276-282.

Recibido para publicación: 7-VII-78.

NUEVOS DATOS SOBRE LA INFLUENCIA DE LA VEGETACION EN LA FORMACION DEL SUELO EN GALICIA

II. APORTES DE ELEMENTOS POR LAVADO DE CUBIERTA Y TRONCO

por

ROSA M.^a CALVO DE ANTA, A. PAZ GONZALEZ
y F. DIAZ-FIERROS VIQUEIRA

SUMMARY

NEW DATA ABOUT DE INFLUENCE OF THE VEGETATION IN SOIL-FORMATION FROM GALICIA. II. IMPUT OF ELEMENTS BY CROWN AND TRUNK LEACHING

Nutrients contents of water throughfall and stemflow was analyzed in several woodland (gr. *Quercus*, *Pinus*, *Eucaliptus*) and schrubs (gs. *Ulex*) species. A linear relationship between nutrient leaching and cumulative throughfall and stemflow is demonstrated.

pH of the rain water (6,0) decrease when penetrating the three crown in the order: *Quercus* (5, 6); *Eucaliptus* (5, 1); *Pinus* (4, 4), and the pH of the stemflow water decrease in the order: *Quercus* (4, 9) *Eucaliptus* (4, 6); *Pinus* (3, 8), as average values.

Due to the acidity of water reaching the soil surface an aceleration of the soil leaching under *Pinus* is spected.

INTRODUCCIÓN

El estudio de las relaciones planta-suelo mediante el establecimiento de la circulación y el ciclo de los elementos en un suelo asociado con distintas especies vegetales ha sido un método utilizado por numerosos autores (Miller, 1963; Egunjobi, 1971).

Las plantas transfieren al suelo nutrientes mediante el lavado de sus cubiertas por el agua de precipitación que las atraviesa (pluviolavado) y la que llega resbalando por el tronco (escurrido). Pluviolavado y escurrido incluyen, además, elementos que, procedentes de anteriores precipitaciones, fueron retenidos debido a la interceptación que ejerce la vegetación, así como los productos de la atmósfera que se depositan sobre ella en épocas de escasa o nula precipitación. Por otra parte las plantas transfieren al suelo hojas y otros restos, que son lavados por las aguas de percolación y descompuestos por los microorganismos.

El suelo pierde elementos que por un lado son absorbidos y retenidos por la vegetación y, por otro, arrastrados mediante las aguas de drenaje que atraviesan y lavan el perfil.

Si consideramos estos aportes y pérdidas como los principales que tienen lugar en el sistema podemos llegar a establecer, con bastante precisión, el balance de los elementos y, estimar, a partir del mismo, la tendencia de los procesos que se están produciendo.

En una anterior publicación abordábamos el estudio de la influencia que diferentes vegetaciones, arbóreas y arbustivas ejercen sobre un suelo, en Galicia, estableciendo el distinto grado de interceptación que sus cubiertas oponen al paso de la precipitación. En el presente trabajo nos proponemos el estudio del aporte de elementos al suelo mediante el pluviolavado y escurrido a través de las distintas especies.

Posteriormente trataremos de concluir el estudio, determinando, por una parte, el aporte de elementos a través de la hojarasca caída desde diferentes especies, y, por otra, la pérdida de agua y elementos en un suelo bajo dos vegetaciones arbóreas diferentes, completando así el conjunto de datos necesarios para establecer el balance de materia de un suelo.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se han realizado los análisis químicos de las aguas de pluviolavado recogida bajo cubiertas de *Q. robur* y *P. radiata*, durante 1975 y *Q. robur*, *P. pinaster*, *E. globulus* y *U. europaeus* en el período Marzo-Agosto de 1977, en las estaciones 2 y 3 respectivamente, que ya fueron descritas en la primera parte de este estudio. El análisis del agua de escurrido ha sido realizado exclusivamente para las especies arbóreas de la estación 3.

Recogidas por duplicado y filtradas las muestras, se analizan en el laboratorio los elementos que se señalan a continuación, de los que sólo se muestran en las tablas los valores medios obtenidos:

Fósforo

Método colorimétrico descrito por Wanatabe (1962) usando molibdato amónico.

Cloro

Valoración con nitrato de plata, utilizando cromato potásico como indicador (método de Mohr).

Nitrógeno

Se determinó según el método Kjeldahl, usando como reactivos OMg calcinado y aleación Devarda, para determinar el N-total. Para el cálculo del N-amonio se introdujo exclusivamente en el matraz OMg; N-

nitrito según el método de Griess modificado y, N-nitrato se calcula por diferencia de los valores obtenidos (Black, 1965).

Carbonatos y bicarbonatos

Determinación volumétrica con ClH , usando fenoftaleina y n. de metilo como indicador (método Warder).

Materia orgánica

No se ha determinado directamente sino que ha sido calculada de la cantidad de MnO_4K requerida para oxidar la materia orgánica disuelta en el agua. Según Minderman (1968) 1 mg. de MnO_4K corresponde a 0,202 mgr. de ac. fúlvicos o 0,095 mgr. de carbono.

Ca, Na, Mg. y K

Se midieron directamente, Ca y Mg por absorción atómica, Na y K por fotometría de llama.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Pluviolavado

En las tablas I y II se muestran los valores correspondientes a las concentraciones medias de elementos en el pluviolavado de las distintas especies estudiadas durante 1975 y 1977, en las estaciones correspondientes.

En primer lugar se pone de manifiesto que las concentraciones de elementos en el pluviolavado varían estacionalmente, obteniéndose para todas las especies valores superiores en los meses de verano, tal y como fue observado por otros autores (Johnson, 1973) lo cual encuentra justificación, por una parte, en las menores cantidades de precipitación durante este período, puesto que según hemos observado, de acuerdo con otros autores (Attiwill, 1966) la pérdida de elementos por hojas es grande durante las primeras horas de lluvia, de lo cual se desprende una correlación negativa entre concentración y cantidad de precipitación. Por otra parte la menor intensidad de precipitación en esta época favorece un lavado más intenso en función del tiempo de residencia del agua en las hojas (Macklenburg y Tukey, 1964), así como el incremento de la temperatura que influye sobre el lavado de forma directa e indirectamente activando los procesos de liberación de elementos por las hojas. Por último hay que tener en cuenta el proceso de desarrollo propio de las hojas que presenta en verano los índices más elevados.

En general se observa que las concentraciones de Na, Mg y Ca presentan máximos a principios de verano, mientras que el K, S y materia

TABLA I

Concentraciones de elementos (ppm) en el pluviolavado de *Q. robur* y *P. radiata* (1975, estac. 2)

Período	S-SO ₄	Cl	N-NO ₃	N-NH ₄	Ca	Mg	Na	K	C	P ₂ O ₅
<i>Q. robur</i>										
24-XII : 12-I	6,65	3,67	0,81	0,41	3,75	1,50	5,20	15,70	0,002	< 0,12
12-I : 20-I	0,025	2,67	0,00	0,49	2,00	1,20	6,30	6,20	0,002	»
20-I : 2-II	0,65	2,67	0,17	0,58	1,50	1,30	4,70	1,82	0,002	»
12-II : 20-II	1,91	7,35	0,28	0,45	2,00	1,60	7,50	2,57	0,003	»
20-II : 7-III	3,60	3,67	0,23	0,47	2,20	2,80	4,90	6,05	0,001	»
7-III : 20-III	2,72	6,58	0,00	0,45	2,70	0,60	7,00	2,02	0,002	»
20-III : 22-V	6,07	6,34	0,00	0,35	3,50	1,90	10,90	13,55	0,006	»
22-V : 27-VI	9,50	9,09	0,28	1,01	12,00	3,90	7,60	14,10	0,001	»
27-VI : 17-IX	8,55	7,01	0,30	1,45	5,00	1,10	6,40	16,20	0,000	»
17-IX : 2-X	7,40	3,00	0,21	0,37	2,50	0,20	3,10	11,00	0,000	»
2-X : 27-X	8,65	9,35	0,45	0,98	3,50	1,30	6,70	15,30	0,005	»
27-X : 6-X	5,50	10,44	0,21	0,35	2,00	0,20	5,90	8,90	0,006	»
6-XI : 26-XI	6,00	11,00	0,10	0,20	2,50	1,10	3,39	7,60	0,003	»
26-XI : 24-XII	8,00	4,00	0,20	0,40	2,60	2,20	12,00	9,80	0,001	»
<i>P. radiata</i>										
24-XII : 12-I	9,72	5,68	2,28	1,22	4,00	2,50	9,60	6,30	0,004	»
12-I : 20-I	1,10	5,17	0,09	0,68	2,00	1,50	4,40	5,80	0,003	»
20-I : 12-II	2,52	4,17	0,37	0,47	2,00	1,50	5,40	6,30	0,002	»
12-II : 20-II	2,00	11,35	0,60	0,45	2,50	2,20	8,50	6,50	9,003	»
20-II : 7-III	3,70	7,85	0,21	0,59	2,50	2,20	12,05	7,40	0,004	»
7-III : 20-III	5,05	14,69	0,19	0,40	3,00	0,90	6,00	8,00	0,001	»
20-III : 22-V	9,53	15,36	0,25	2,55	3,50	3,20	8,80	10,10	0,004	»
22-V : 27-VI	12,95	18,18	3,21	3,54	11,70	5,50	12,00	9,80	0,007	»
27-VI : 17-IX	13,60	22,71	2,83	13,37	3,00	2,10	15,00	10,40	0,014	»
17-IX : 2-X	3,45	4,34	0,59	1,30	1,00	0,40	9,10	5,00	0,002	»
2-X : 27-X	5,50	12,02	0,56	1,47	1,00	1,10	4,80	7,90	0,004	»
27-X : 6-XI	6,52	12,80	0,91	0,42	1,50	0,95	10,20	7,40	0,004	»
6-XI : 26-XI	8,00	13,80	0,55	0,25	2,00	2,30	9,20	7,80	0,003	»
26-XI : 24-XII	6,40	8,00	0,79	1,21	3,20	2,20	11,30	7,20	0,003	»

orgánica (estos dos últimos solo se determinaron en las dos especies de la estación 2) aumentan gradualmente desde Marzo hasta finales de verano, en donde se obtienen los valores más elevados. N y Cl se comportan, en general, de forma similar al Ca excepto en *P. radiata* en donde presenta una evolución semejante al K.

Estos dos tipos de lavado foliar entre los distintos elementos han sido puestos de manifiesto también por otros autores. Eaton (1973) explica el comportamiento de los distintos elementos como una consecuencia de su diferente localización en las hojas. Así los elementos asociados con las moléculas orgánicas, en especial Ca y N, presentan un decrecimiento en la concentración del pluviolavado en la época próxima a la vejez de la hoja. Sin embargo otros elementos, como el K, pueden incrementar su concentración en esta época debido a la deterioración de la cutícula foliar. Will (1959) atribuye los altos valores de este elemento a cambios metabólicos que se producen en la senescencia de la hoja. Por su parte Tukey et al. (1965) explican el lavado como un proceso de cambio y difusión en la superficie de la hoja, lo cual fue demostrado posteriormente (Good y Tukey, 1966). Según esto los tejidos viejos presentan una mayor disponibilidad a ser lavados, por encontrarse sus elementos en forma cambiante.

Finalmente, hay que señalar el hecho de que prácticamente todo el nitrógeno presente en las aguas de pluviolavado se encuentra en forma de amonio, constituyendo solo una pequeña parte los nitratos y, no observándose en ningún momento la presencia de nitritos.

En la figura 1 se representa acumulativamente los valores absolutos de elementos en precipitación y pluviolavado de las cubiertas de *Q. robur* y *P. radiata* a lo largo de 1975.

En primer lugar se pone de manifiesto que el aporte de elementos al suelo, bien por precipitación directa o bajo cubiertas vegetales es prácticamente constante a lo largo del año. Esto se explicaría porque al incremento de concentración señalado anteriormente para los meses de verano, se le opone una menor cantidad de agua percolada, con lo que la cantidad global de elementos aportados al suelo es prácticamente del mismo valor que la que se produce en el resto del año.

De esta forma se observa que el factor que influye principalmente en el aporte de elementos al suelo es, en cualquier época del año y para un determinado tipo de vegetación, la cantidad de precipitación (o percolación) que llega a su superficie, obteniéndose una relación prácticamente lineal entre estos dos parámetros a lo largo del año.

Las diferencias existentes entre los dos tipos de vegetación considerados en la estación 2, *Q. robur* y *P. radiata*, pueden sintetizarse teniendo en cuenta los valores anuales de cada elemento en el pluviolavado y la intensidad de lavado para una misma cantidad de percolación (tabla III). El aporte anual real de nutrientes por pluviolavado de *P. radiata* es sensiblemente superior al que presenta *Q. robur*. Para analizar este hecho hay que tener en cuenta, en primer lugar que durante los meses de invierno esta especie carece de hojas en su cubierta, lo cual hace que el lavado sea mínimo en el período del año en que la mayor precipitación podría favorecerlo. No obstante este hecho, los valores obtenidos durante estos meses no se muestran excesivamente diferentes a los del pino (figura 1), lo cual indica la buena disponibilidad que pre-

TABLA II

Valores correspondientes a las cantidades de pluviolavado y escurrido y concentraciones (ppm) de elementos en las mismas, para *Q. robur*, *P. pinaster*, *E. globulus* y *U. europaeus* (1977, estac. 3)

Período	(Mm)			Cl		N-total		Ca		Na		K		Mg	
	Prec.	P.uv.	Esc.	Pl.	Esc.	Pl.	Esc.	Pl.	Esc.	Pl.	Esc.	Pl.	Esc.	Pl.	Esc.
<i>Q. robur</i>															
III	189	162	10,8	2,6	2,8	0,6	0,6	0,9	1,2	3,9	1,8	0,8	2,7	0,1	1,3
1-7 IV	80	56	6,1	2,1	2,7	0,6	0,7	2,1	2,8	5,1	2,8	1,3	2,9	0,2	1,6
7-30 IV	15	14	1,7	1,5	3,1	0,6	0,6	0,9	1,7	5,0	7,0	0,8	1,2	0,07	2,3
1-11 V	45	30	2,0	1,0	1,7	0,6	0,6	2,1	2,0	4,0	21,5	1,2	1,5	0,2	4,5
11-31 V	48	32	1,5	6,0	8,0	0,9	1,2	6,2	7,8	6,9	33,0	4,1	5,2	2,9	10,4
VI	106	66	4,1	5,3	6,8	0,7	0,8	4,0	5,0	8,3	9,0	4,0	3,9	1,1	3,1
VII	71	40	3,9	4,4	1,2	0,5	0,6	3,7	6,7	8,0	16,4	4,8	3,1	1,5	3,3
VIII	73	44	3,5	2,8	3,3	0,7	1,0	4,4	7,6	8,2	15,0	4,9	3,7	1,4	3,1
<i>P. pinaster</i>															
III		124	13,7	2,7	3,5	0,6	0,6	2,2	2,5	5,8	6,3	2,3	2,3	0,3	0,7
1-7 IV		52	5,8	3,2	2,6	0,7	0,6	3,0	6,2	6,1	8,9	2,0	4,1	0,7	1,0
7-30 IV		8	2,8	1,9	1,2	0,6	0,6	2,5	1,8	10,6	7,1	1,8	2,5	0,2	1,1
1-11 V		28	4,0	1,1	1,3	0,6	0,6	1,8	2,0	7,5	8,2	2,3	2,2	0,2	1,5
11-31 V		32	3,1	1,2	4,2	1,2	1,2	5,1	5,5	12,6	15,9	3,6	10,4	2,6	3,6
VI		70	8,1	2,5	5,8	0,6	0,6	3,7	4,7	8,6	2,8	3,6	2,9	0,7	1,1
VII		43	4,3	3,3	3,3	0,7	0,6	3,5	2,8	7,5	18,8	4,0	9,5	1,3	1,8
VIII		46	4,0	2,7	3,0	0,7	0,7	6,7	3,3	6,0	—	4,5	—	0,9	—

E. globulus

III	129	25,0	5,9	4,4	0,8	0,7	1,8	1,7	5,0	4,3	2,0	2,0	0,3	0,5
1-7 IV	48	12,3	3,5	5,4	0,6	0,7	2,6	4,8	6,2	4,9	0,9	1,8	0,7	0,6
7-30 IV	7	4,2	1,7	3,3	0,7	1,3	2,4	2,1	6,1	6,9	1,6	0,2	0,8	0,7
1-11 V	26	6,0	1,7	2,0	0,5	0,5	1,6	3,2	6,5	6,2	2,5	1,2	0,5	0,8
11-31 V	30	6,4	1,0	1,0	0,6	1,2	6,9	7,9	10,4	7,5	3,6	8,0	2,3	1,0
VI	68	18,4	5,6	2,4	2,9	3,2	4,0	5,6	8,0	7,9	3,5	4,3	0,8	0,6
VII	39	12,3	2,1	2,6	1,2	0,7	2,9	4,5	7,3	7,3	3,7	5,2	1,4	1,5
VIII	48	10,4	2,7	1,9	1,7	0,7	1,9	3,9	4,0	6,5	3,6	4,6	0,9	1,5

U. europaeus

III	88,6		2,6		0,6		2,3		8,0		3,3		0,3	
1-7 IV	39,1		2,6		1,3		3,6		8,4		2,6		0,5	
7-30 IV	6,4		1,9		0,6		3,2		14,2		2,0		0,8	
1-11 V	19,0		1,2		1,0		3,2		12,3		1,4		0,4	
11-31 V	21,0		9,3		1,0		8,7		14,1		3,3		0,8	
VI	43,4		3,3		0,7		3,5		10,7		3,2		0,6	
VII	23,9		1,2		2,4		2,1		9,2		4,3		0,9	
VIII	28,0		1,4		1,2		1,1		7,5		4,8		0,7	

sentan sus ramas al lavado. A partir de mayo y hasta otoño las pendientes de las rectas de las dos vegetaciones son similares, poniendo de

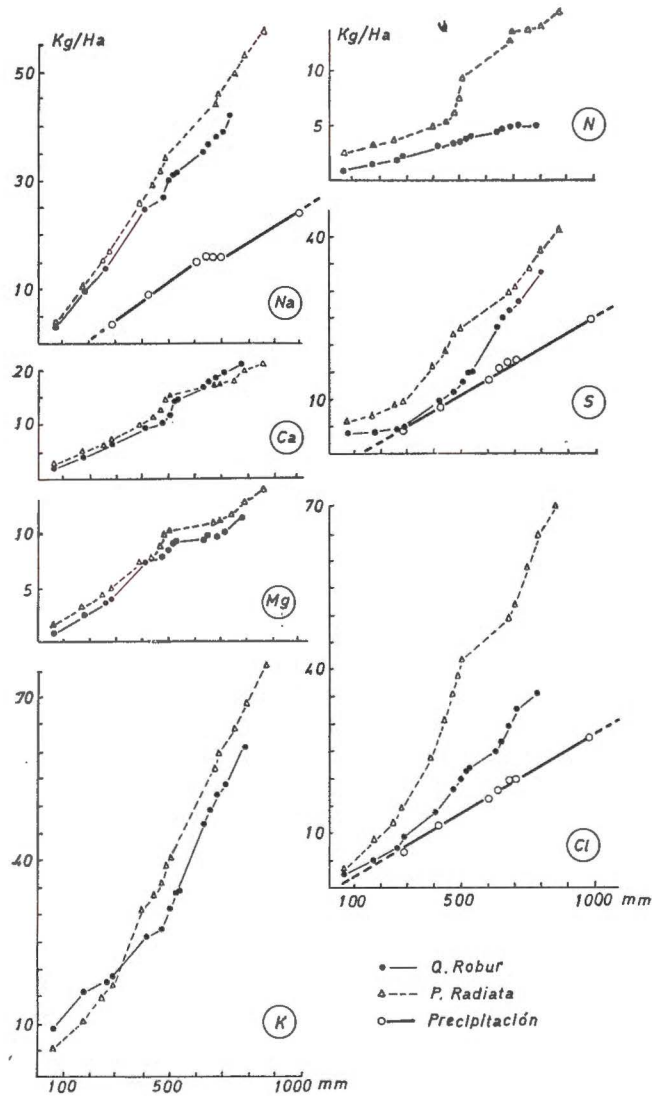


Fig. 1. — Lavado de elementos de las cubiertas de *Q. robur* y *P. radiata* (1975, ast. 2), representado acumulativamente con respecto a la cantidad de percolación

manifiesto una semejante intensidad de lavado de sus cubiertas; no obstante, los valores totales de elementos retirados al final de este período son menores en el roble debido a la menor cantidad de precipitación que llega a atravesar su cubierta, como consecuencia del considerable

T A B L A I I I

Aportes anuales de elementos pluviolavado de Q. robur y P. radiata (1975, estac. 2)

	Pluviolavado Kg/Ha	mgr/100 mm percol.	Pluv /Prec.
Precipitación (mm)	1359..		
Percolación (mm) Roble	780 .		
Pino	857..		
S-SO ₄ Roble.....	33,9	4,4	0,97
Pino.....	41,6	4,8	1,18
Cl Roble.....	35,8	4,6	0,94
Pino.....	69,8	8,1	1,83
Na Roble.....	42,7	5,5	1,2
Pino.....	57,6	6,7	1,6
Ca Roble.....	20,5	2,6	—
Pino.....	20,5	2,4	—
K Roble.....	60,8	7,8	—
Pino.....	76,1	8,9	—
Mg Roble.....	11,3	1,4	—
Pino.....	13,9	1,6	—
N Roble.....	5,1	0,6	—
Pino.....	15,2	1,8	—
C Roble.....	0,02	0,002	—
Pino.....	0,03	0,003	—

porcentaje de intercepción que presenta esta especie durante el período con hojas (Calvo, Paz, Díaz-Fierros, 1978). Esta es la principal causa del menor aporte anual de elementos por el pluviolavado de roble. Con respecto a esto Madgwick y Ovington (1959) afirman que las especies deciduas pierden por pluviolavado más nutrientes que las coníferas durante el verano, pero que estas últimas continúan la pérdida durante los meses de invierno, por lo que el balance anual es contrario al estival.

Por otra parte hay que tener en cuenta la capacidad que presentan las coníferas (Minderman, 1965), debido a la forma y número de sus acículas, de retener algunos elementos tales como Cl, S, Na y K, que en forma de pulverizado salino procedente del mar son transportados por el viento y quedan depositados en las hojas una vez evaporada el agua, siendo retirados posteriormente por la precipitación.

Hay que señalar, por último, la elevada disponibilidad de Mg y Ca que presenta el roble, ya que a pesar de las dificultades señaladas para el lavado de su cubierta apenas se obtiene diferencias en el aporte anual de estos elemntos con respecto al pino.

El distinto grado de movilidad de los elementos de las cubiertas vegetales ha sido estimado mediante la relación entre las concentraciones medias de cada elemento en el pluviolavado con respecto al porcentaje medio de este elemento en las hojas recogidas en distintos momentos a lo largo del año (tabla IV). En el roble se ha realizado el cálculo sin tener en cuenta la variabilidad en la densidad de follaje en las distintas épocas del año.

TABLA IV

Coefficientes de movilidad de elementos por pluviolavado de Q. robur y P. radiata

	Elemento	Ca	Na	K	Mg	N
Roble	Publiol. conc. med. (ppm) ..	3,40	6,54	9,30	1,49	0,79
	mgr/100 gr. de hojas.....	814	150	498	167	1498
	Coef. de movilidad	0,0040	0,0040	0,0190	0,0089	0,0005
Pino	Publiol. conc. med. (ppm) ..	3,06	7,56	9,72	1,93	2,95
	mgr/100 gr. de hojas.....	440	130	361	143	1010
	Coef. de movilidad.....	0,0069	0,0580	0,0270	0,0130	0,0029

Para los dos tipos de vegetación se obtiene una similar secuencia en el grado de movilidad de los elementos, $Na > K > Mg > Ca > N$, que ha sido observado también por otros autores (Gosz et al. 1969; Eaton, 1973).

De los valores obtenidos en 1977 en el período marzo-agosto para los cuatro tipos de vegetación de la estación 3, nuevamente se desprende la existencia de una correlación: cantidad de elementos en pluviolavado-cantidad de percolación (precipitación), constante para cualquier época del año (tabla V).

Entre las distintas especies se pone de manifiesto, en primer lugar, el bajo contenido en elementos del pluviolavado del matorral de tojo con respecto a las especies arbóreas. Las relaciones pluviolavado/precipitación muestran que prácticamente todo el Ca, Na, Mg y la mitad del K que llega al suelo bajo esta especie provienen de la precipitación. N y Cl incluso muestran una retención con respecto a la precipitación. El escaso aporte registrado en esta especie es consecuencia del elevado porcentaje de interceptación que presenta su cubierta, puesto que los valores obtenidos para una misma cantidad de percolación son similares e incluso mayores a los observados en las otras vegetaciones.

Por lo que respecta a las especies arbóreas de esta estación se observa, primeramente, que el aporte de nutrientes por pluviolavado de roble es menor que en las otras dos vegetaciones. Las mayores cantidades de percolación que se registran en esta especie no implican un mayor lavado, puesto que son consecuencia, precisamente, de la falta de hojas en los meses más lluviosos del período. Es así que para 100 mm. de percolación esta especie presenta, en general, la menor intensidad de lavado.

Entre *P. pinaster* y *E. globulus* se observan pequeñas diferencias de percolación a favor del pino, quien presenta, además, una mayor intensidad de lavado de Ca, Na y K, por lo que los valores absolutos de estos elementos al final del periodo son superiores que en el eucalipto. Por su parte esta especie muestra mayor intensidad de lavado de Cl y N, lo cual hace que a pesar de la menor cantidad de agua que interviene en el lavado estos elementos presentan mayores valores absolutos en su pluvio lavado, en el periodo estudiado.

No obstante observarse diferencias entre las distintas vegetaciones de la estación éstas no son tan acusadas como las que se obtienen en 1975 entre las dos especies de la estación 2, en donde el pluvio lavado de *P. radiata* presenta unos valores muy altos, especialmente para algunos de los elementos.

Escurrido

El agua de precipitación que baja resbalando por los troncos sólo ha sido analizada en las vegetaciones arbóreas de la estación 3, en 1977.

En primer lugar se observa una similar variación estacional de las concentraciones de elementos con el pluvio lavado, con valores mayores en los meses de verano y máximos coincidiendo con los de aquél (tabla II).

Entre las distintas vegetaciones estudiadas se obtienen los mayores aportes bajo eucalipto y los menores bajo roble, como consecuencia de las distintas cantidades de agua que resbalan por sus troncos. De forma similar a lo que sucede con el pluvio lavado los aportes al suelo por escurrido dependen básicamente de la cantidad de agua que discurre por los troncos, obteniéndose para cada especie y elemento una relación prácticamente lineal entre estos dos parámetros.

Con relación al pluvio lavado el escurrido representa un aporte muy pequeño, obteniéndose para roble unas relaciones pluvio lavado/escurrido próximas a 9, excepto para Mg, cuyo aporte por el tronco es muy considerable, llegando a superar al de las otras dos especies; para el pino el pluvio lavado supone alrededor de 6 veces el escurrido, excepto para el nitrógeno, y, en el eucalipto, la relación obtenida está próxima a 4. No obstante esta pequeña proporción con respecto al pluvio lavado, si se tiene en cuenta que la zona de influencia del escurrido se limita a una pequeña superficie alrededor del tronco, los aportes reales para esta zona pueden llegar a hacerse superiores a los del resto del suelo (tabla IV).

Variación del pH del agua de lluvia al atravesar la vegetación

Los valores del pH del agua de precipitación apenas muestran variaciones entre los dos años estudiados, y lo mismo sucede entre los valores obtenidos para el pluvio lavado de roble eucalipto y pino de las dos estaciones. En la figura 2 se representan las distribuciones de frecuencias de los valores de pH de precipitación y pluvio lavado de las especies de la estación 3, en 1977.

TABLA V

Aportes de elementos (Kg/Ha), expresados acumulativamente, correspondientes al pluviolavado de *Q. robur*, *P. pinaster*, *E. globulus* y *U. europaeus* (estac. 3, 1977)

	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	mgr/100 mm. Percol.	Pluv/ Prec.
Precipitación (mm)..	189	284	377	483	554	627	—	—
Percol. (mm)								
Roble.....	162	232	295	361	401	445	—	—
Pino.....	124	184	244	314	357	403	—	—
Eucal.....	129	184	241	309	347	395		
Tojo.....	89	134	174	217	241	269		
Ca								
Prec.....	1,3	2,6	3,9	5,5	6,2	7,2		
Roble.....	1,4	2,7	5,4	8,0	9,5	11,5	2,58	1,6
Pino.....	2,7	4,5	6,7	9,3	10,8	13,8	3,42	1,9
Eucal.....	2,4	3,8	6,3	9,1	10,2	11,2	2,83	1,5
Tojo.....	2,0	3,6	6,0	7,5	8,1	8,4	3,12	1,2
Na								
Prec.....	6,0	9,4	13,1	17,5	19,6	25,6		
Roble.....	6,3	9,8	13,3	18,7	21,9	22,1	5,75	1,2
Pino.....	7,2	11,3	17,4	23,5	26,7	29,5	7,30	1,3
Eucal.....	6,5	10,0	14,8	20,3	23,2	25,1	6,35	1,1
Tojo.....	7,1	11,3	16,6	21,3	23,5	25,5	9,47	1,1
K								
Prec.....	1,2	1,6	2,1	3,0	3,4	3,8		
Roble.....	1,3	2,1	3,8	6,5	8,4	10,6	2,38	2,8
Pino.....	2,8	4,0	5,8	8,4	10,1	12,2	3,03	3,2
Eucal.....	2,6	3,1	4,9	7,3	8,7	10,5	2,65	2,7
Tojo.....	2,9	4,0	4,9	6,3	7,3	8,6	3,20	0,8
Mg								
Prec.....	0,3	0,5	0,7	0,9	1,1	1,3		
Roble.....	0,2	0,4	1,4	2,1	2,7	3,3	0,75	2,6
Pino.....	0,4	0,8	1,7	2,2	2,8	3,2	0,79	2,5
Eucal.....	0,4	0,7	1,6	2,2	2,7	3,2	0,80	2,4
Tojo.....	0,2	0,5	0,7	1,0	1,2	1,4	0,51	1,0
Cl								
Prec.....	2,8	3,9	5,3	6,3	7,7	9,1		
Roble.....	4,2	5,6	7,8	11,3	13,1	14,3	3,21	1,6
Pino.....	3,3	5,2	5,9	7,6	9,0	10,3	2,55	1,1
Eucal.....	7,6	9,4	10,1	13,9	14,8	16,1	4,06	1,8
Tojo.....	2,3	3,5	5,6	7,1	7,3	7,7	2,86	0,8
N								
Prec.....	1,5	3,5	5,7	7,3	7,7	8,1		
Roble.....	1,1	1,5	1,9	2,4	2,6	2,9	0,65	0,4
Pino.....	0,7	1,1	2,7	3,2	3,5	3,8	0,94	0,5
Eucal.....	1,1	1,6	1,9	3,9	4,3	5,2	1,31	0,6
Tojo.....	0,5	1,0	1,4	1,7	2,3	2,6	0,97	0,3

TABLA VI

a) Aportes de elementos por escurrido; b) relación pluviolavado/escurrido de *Q. robur*, *P. pinaster* y *E. globulus* (estación 3, 1977)

	a)			b)		
	Quercus	Pinus	Eucaliptus	Quercus	Pinus	Eucaliptus
Escorrído (mm).....	33,7	45,7	95,0			
Ca (Kg/Ha).....	1,0	1,5	3,4	9,9	7,2	3,0
Na.....	2,4	4,3	5,2	8,9	6,3	4,5
K.....	0,9	1,7	2,8	9,4	6,5	3,1
Mg.....	0,8	0,5	0,7	3,5	5,3	4,0
N.....	0,2	0,3	1,1	12,7	13,8	4,0
Cl.....	1,0	1,5	2,8	13,0	6,2	5,2

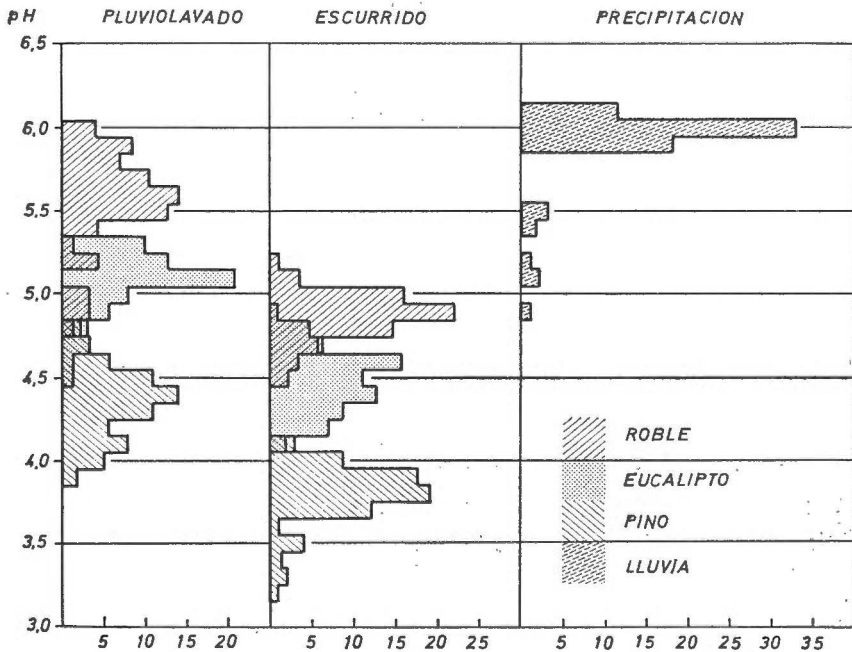


Fig. 2

En primer lugar se pone de manifiesto que el pH del agua de lluvia tiene escasa dispersión alrededor de un valor central de 6,0 y solo en contadas ocasiones (siempre en días de poca precipitación y en forma de chubascos aislados) puede alcanzar valores significativamente ácidos, como consecuencia probable de contaminaciones atmosféricas de origen local.

En segundo lugar se observa un claro descenso del pH del agua de lluvia al atravesar las cubiertas vegetales, descenso que es más ligero en el roble, cuya máxima frecuencia corresponde a un pH de 5,6 y que incluso en algunos períodos no presenta variación con respecto a la precipitación, y más acusado en el pino, cuyo valor más frecuente es 4,4.

Valores aún más ácidos que el pluviolavado presenta el agua que llega al suelo resbalando por los troncos, obteniéndose nuevamente en el pino el efecto más acusado, con frecuencia máxima a pH 3,8 frente a los valores de 4,6 y 4,9 de eucalipto y roble respectivamente.

Si estos valores son traducidos en cantidades de CaO necesarias para la neutralización de la acidez, obtenemos los valores de la tabla VII, que aun cuando son significativos, representan escasamente el 5 por 100 de la dosis de encalado de mantenimiento que exigen los suelos gallegos.

TABLA VII

Cantidades de CaO (Kg/Ha) necesarios para la neutralización de la acidez de los distintos tipos de agua que alcanzan el suelo bajo distintas cubiertas vegetales

	Escurrido	Pluviolavado	Total
Roble.....	3,8	23,6	27,4
Pino.....	6,6	44,5	51,1
Eucalipto.....	9,4	51,4	60,7
Precipitación.....	—	—	0,15

CONCLUSIÓN

Del análisis químico de las aguas que llegan al suelo después de atravesar determinadas cubiertas vegetales (*Quercus*, *Pinus*, *Eucalyptus*, *Ulex*) o resbalando por sus troncos se deducen, en primer lugar, diferencias significativas entre las dos estaciones y años considerados, obteniéndose en la estación 2 (año 1975) considerables valores para algunos iones, Na⁺ y K⁺ para los cationes y SO₄⁼ y Cl⁻ para los aniones. Tales valores que pueden parecer muy elevados si se los compara con los de algunos autores no lo son tanto al hacerlo con los obtenidos, p. ej. Egunjobi (1971), en un lugar climatológicamente similar al nuestro. No obstante es posible la existencia de una cierta contaminación atmosférica dada la relativa proximidad de dicha estación a la ciudad, a diferencia del enclave mucho más aislado de la estación 3.

Al mismo tiempo se aprecia en ambas estaciones y años un aporte anual de elementos significativamente más alto en el pino que en el roble y en la estación 3 (año 1977), donde únicamente se estudió el eucalipto, también el roble tiene los valores inferiores.

Por otro lado se observa que el proceso de lavado, aún cuando presenta un aumento en los meses de verano, puede asimilarse sin desviación importante a un proceso lineal dependiente en exclusiva de los valores de pluviolavado y escurrido que alcanzan el suelo. De esta manera la predicción de este tipo de aportes al suelo puede realizarse con relativa facilidad y garantía.

Finalmente, y como aspecto importante y de actualidad está el problema del pH del agua que alcanza el suelo. Ultimamente se ha especulado mucho con el riesgo de acidificación de los suelos en función de la incidencia sobre el mismo de las denominadas «lluvias ácidas» (Abrahamsem et al., 1975), como consecuencia de la polución. Pues bien, por lo que respecta a la zona y al año estudiado el problema no parece tener por el momento especial relieve. Otra cosa resultaría, sin embargo, al considerar el pH del agua que atraviesa la cubierta vegetal y escurre por el tronco. Por los datos que aporta este trabajo parece demostrarse el serio incremento de la acidez, sobre todo del agua que escurre por los troncos y que en el caso de alguna especie, como *Pinus*, puede alcanzar valores que lógicamente deben afectar de forma sensible a los procesos de formación del suelo. Otros autores (Nihlgard, 1970; Bruckert, 1971) han puesto de manifiesto antes el carácter ácido de los pluviolados de las coníferas, al que atribuyen el acelerar por sí mismo los procesos de lavado del suelo. Concretamente, y como ya se señalaba en el anterior trabajo (Calvo, Paz, Díaz-Fierros, 1977) son evidentes en Galicia signos de podsolización en las proximidades de las raíces en los géneros *Pinus* y *Eucaliptus*, inducidos indudablemente por la doble acción del exceso de precipitación que afecta a la zona, y del bajo pH de la misma.

RESUMEN

Se analiza el contenido de nutrientes del agua de pluviolavado y escurrido por los troncos de determinadas especies arbóreas (*gs*, *Quercus*, *Pinus*, *Eucaliptus*) y arbustivas (*Ulex*). Se pone de manifiesto una relación lineal entre el lavado de nutrientes y la cantidad, acumulada de pluviolavado y escurrido.

El pH del agua de lluvia (6,0) decrece al atravesar las cubiertas arbóreas en el orden: *Quercus* (5,6); *Eucaliptus* (5,1); *Pinus* (4,4) y el pH del agua escurrida por el tronco descende en el orden: *Quercus* (4,9); *Eucaliptus* (4,6); *Pinus* (4,4).

Dado el carácter ácido del agua que alcanza la superficie del suelo es de esperar, fundamentalmente bajo pino, una aceleración de los procesos de lavado.

Departamento de Edafología. Universidad de Santiago.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) ABRAHAMSEN, G., HORNTVEDT, R., TVEITE, B. (1975). Impacts of acid precipitation on coniferous forest ecosystems. S. N. S. F. project FR 2/75.
- (2) ATTIWILL, P. M. (1966). The chemical composition of rainwater in relation to recycling of nutrients in mature eucalyptus forest. *Pl. Soil*, 24, 390-406.

- (3) BLACK, C. A. (1965). Methods of soil analysis, part 2.
- (4) BRUCKERT, S., TOUTAIN, F., TCHICAYA, J., JACQUIN, F. Influence des pluviocessivats de Hêtre et de *Pin sylvestre* sur les processus d'humification. Ecol. Plant Gauthier. Villars, 6, 329-339.
- (5) CALVO, R., PAZ, A., DÍAZ-FIERROS, F. (1979). Nuevos datos sobre la influencia de la vegetación en la formación del suelo en Galicia. I. Interceptación de la precipitación. Anales de Edaf. y Agrob., XXXVIII, 1151.
- (6) EATON, J. S. (1973). Throughfall and stemflow chemistry in a Northern Hardwood forest. Journal of Ecology, 61 (2), 495-508.
- (7) EGUNJOBI, J. K. (1971). Ecosystem processes in a stand of *Ulex europaeus* L. II. The cycling of chemical elements in the ecosystem. J. Ecol., 59, 669-678.
- (8) ERIKSSON, E. (1960). The yearly circulation of chloride and sulphur in nature. Meteorological, chemical and pedological implications. Part 2. Tellus, 12, 63-109.
- (9) GOOD, G. L. and TUKEY, H. B. (1966). Leaching of metabolites from cuttings-propagated under intermittent mist. Proc. Am. Soc. hort. Sci., 89, 727-23.
- (10) GOSZ, J. R., LIKENS, G. E., EATON, J. D. (1959). The chemical composition of precipitation in adjacent forest and open plots. Forestry, 32, 14-22.
- (11) MACKLEBURG, R. A. and TUKEY, H. B. (1964). Influence of foliar leaching on root uptake and translocation of calcium-45 to the stems and foliage of *Phaseolus vulgaris*. Pl. Physiol. Lancaster, 39, 533-6.
- (12) MADGWICK, H. A. I. and OVERTON, J. D. (1959). The chemical composition of precipitation in adjacent forest and open plots. Forestry, 32, 14-22.
- (13) MILLER, R. B. (1963). Plant nutrients in hard beech. The cycle of nutrients. N. Z. J. Sci., 6, 388-413.
- (14) MINDERMAN, G. (1968). The amounts of drainage water and solutes from lysimeters planted with either oak, pine or natural dune vegetation, or without any vegetation cover. Plant and Soil, XXVIII, núm. 1.
- (15) NIHLGARD, B. Pedological influence of spruce planted on former beech forest soils in Scania, South Sweden, Oikos, 22 (3), 302-314.
- (16) STENLID, G. (1958). Salt losses and redistribution of salts in higher plants. Encyclopedia of Plant Physiology. IV. Mineral Nutrition of Plants (Ed. by W. Ruhland), 615-37. Springer-Verlag, Berlín.
- (17) TUKEY, H. B., MECKLEBURG, R. A. and MORGAN, J. V. (1965). A mechanism for the leaching of metabolites from foliage. Radiation and Isotopes in Soil-Plant Nutrition Studies, 371-85, Int. Atomic Energy Agency, Vienna.
- (18) WANATABE, F. S. and OLSEN, S. R. (1962). Colorimetric determination of phosphorus in water extracts of soil. Soil Sci., 93, 183-88.
- (19) WILL, G. M. (1959). Nutrient return in litter and rainfall under some exotic-conifer stands in New Zealand. New Zealand Journal of agricultural Research, Vol. 2, núm. 719-734.
- (20) WILLIAMS, R. J. B. (1976). The chemical composition of rain land drainage and borehole water from Rothamsted, Broowis Barn, Saxmundan, and Woburn Experimental Station. Technical Bulletin, Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, UK núm. 32, 174-200.

Recibido para publicación: 11-IV-78

NOTAS SOBRE TECNICAS DE INVESTIGACION DE SUSTANCIAS HUMICAS

III. FRACCIONAMIENTO DE SUSTANCIAS HUMICAS MEDIANTE ADSORCION SOBRE RESINA AMBERLITE XAD-8

por

J. F. GALLARDO * y M. I. M. GONZALEZ **

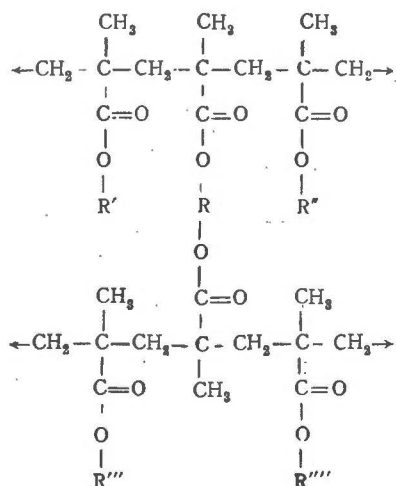
SUMMARY

SOME NOTES ON TECHNIQUES FOR INVESTIGATING HUMIC SUBSTANCES. III. FRACTIONATION OF THE HUMIC SUBSTANCES USING AMBERLITE XAD-8 POLIMERIC ADSORBENT

Amberlite XAD-8 polimeric adsorbent has been used in the fractionation of the humic substances of an Haplustoll (Chernozem); the results show a clear diferentiation among the different fractions and, for that, this technique can be useful and hopeful.

1. INTRODUCCIÓN

Rohm & Haas (1976) ha lanzado un adsorbente polímero (XAD-8) para decoloración y blanqueo de pulpas; dicho producto se caracteriza por la débil adsorción química que realiza sobre sustancias hidrófobas. Se trata de un polímero macroreticular, de aspecto esférico, sin posiciones de cambio, obedeciendo a la fórmula estructural siguiente:



* Centro de Edafología y Biología Aplicada. C. S. I. C., Salamanca.

** Cátedra de Edafología. Facultad de Farmacia. Universidad de Salamanca.

lo cual corrobora lo citado anteriormente: las adsorciones más intensas son las que se efectúan sobre el grupo cetónico, por lo que se trata de uniones de baja energía de enlace (Malcolm, 1976).

El tamaño de las partículas del polímero oscila entre las 20 a 60 mallas, poseyendo, pues, una gran superficie específica (140 m²/g), porosidad elevada (algo más del 50 por 100 del volumen), con predominio de la macroporosidad; la densidad en agua destilada es de 1,05 g/cm³ (Rohm & Haas, 1976).

La regeneración de estas resinas, debido a las bajas energías de enlace, es fácil y rápida, no originándose, por tanto, adsorciones irreversibles en ningún momento ni, por supuesto, modificaciones estructurales de las sustancias orgánicas adsorbidas como sucede con otros geles (Gallardo, González, 1978); con ello, la casi totalidad de las sustancias orgánicas son eluidas ya por soluciones ácidas o básicas diluidas, ya por etanol, comportándose el metanol como el agente más drástico, por cuanto regenera de forma total dichas resinas (Rohm & Haas, 1976).

Ello ha movido a Leenheer y Malcolm (comunicación personal) a iniciar una serie de ensayos para comprobar la idoneidad de la utilización de la nueva resina XAD-8 para un correcto fraccionamiento de las sustancias húmicas.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

La muestra de suelo fue tomada de un horizonte A₁₁ (0-20 cms) de un Chernozem (Haplustoll), del Condado de Jefferson (Colorado, U. S. A.), de un contenido en materia orgánica próximo al 4,5 por 100 y reacción casi neutra (pH 6,6); el tipo textural es limofinoarenoso (Gallardo et al., 1978).

A partir de esta muestra se extrajeron las sustancias húmicas alcalinosolubles mediante NaOH 0,1 M bajo atmósfera de N₂; siendo la relación suelo/extractante de 1/10, la duración del contacto fue de 20 horas mediante agitación continua de vaivén. Tras la oportuna centrifugación a 20.000 rpm (centrífuga de aire comprimido de alimentación continua de la suspensión), se obtuvo un rendimiento muy bajo (alrededor del 4 por 100). Como método de purificación se procedió a filtrar el líquido a través de una membrana de plata de 0,45 (Malcolm y Leenheer, 1973), ayudándose mediante nitrógeno a presión. La concentración final alcanzada en líquido claro fue de 69 ppm de carbono.

A su vez, se prepararon columnas de cromatografía (tipo SERVA), con 10 ml de gel (3 gr de resina y 7 ml de H₂O previamente destilada); la percolación de agua destilada a través de la columna purificada daba un contenido en carbono de alrededor de 2 ppm. Dado que las resinas poseen una capacidad de adsorción de alrededor de 50 mg C/g. se agitaron rotativamente durante dos horas 600 ml de alcalino solubles con dichos 10 ml del gel XAD-8 (esto es, unos 41,5 mg de C orgánico en total), procediéndose posteriormente a su elución en columna, primeramente con H₂O, luego con HCl o NaOH diluido y, por último, con metanol. Este proceso se repitió de manera sucesiva a los siguientes pH (ajustados mediante adición de gotas de HCl convenientemente): 12,8,

12,0, 10,9, 9,6, 8,0, 7,0, 5,9, 4,2, 3,3, y, finalmente, 1,5. En cada uno de los eluidos, se determinó la cantidad de carbono orgánico mediante un T. O. C. A. 915A de Beckman (Van Hall, 1967). Dicho proceso se realizó por duplicado.

3. RESULTADOS

En las figuras 1, 2 y 3 se muestran sintéticamente los resultados (valores medios).

4. DISCUSIÓN

En la figura 1 se pone en evidencia que las cantidades de C orgánico adsorbido es creciente al disminuir el pH de partida (12,8), hasta alcanzar un máximo hacia pH 10,8. A partir de dicho pH la adsorción disminuye drásticamente, siendo casi nula entre pH 9,5 y 7,5 (fig. 1). Dichas sustancias húmicas no sólo no se eluyen a esos pH, sino que al eluir con H₂O se adsorben trazas de carbono que conlleva ésta; tampoco las eluye el HCl diluido; solamente el metanol es capaz de lograr una desorción completa: se trata pues de sustancias hidrófobas de carácter neutro.

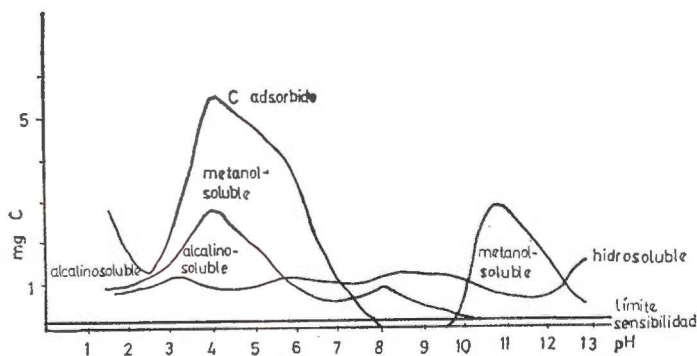


Fig. 1

A pH inferiores a 7,5, la adsorción vuelve de nuevo a incrementarse, alcanzándose un máximo a pH próximo a 4,0; estas sustancias tampoco se desorben con agua, pero sí con NaOH diluido; una pequeña proporción queda adsorbida, pero se libera fácilmente con metanol.

A pH inferiores a 4,0 la adsorción decrece, alcanzándose un nuevo mínimo a pH cercano a 2,5, donde se vuelve a observar un incremento hacia la zona fuertemente ácida; no obstante, en esta zona no se puede hablar de una verdadera adsorción, sino que se trata más bien de una precipitación de las sustancias húmicas (quedando, pues, inmobilizadas dentro de la columna); así, no son eluidas con H₂O, pero sí con NaOH en su casi totalidad; el resto se eluye fácilmente con metanol.

Al final del proceso se observa que poco más del 75 por 100 del carbono inicial ha sido adsorbido por la resina.

Se intentó también determinar a qué pH, preferentemente, se adsorben las fracciones fúlvicas y húmicas (fig. 2). Se comprobó que las fracciones húmicas tienden a adsorberse en una estrecha zona de pH (alrededor de pH 4,0), y también a valores alcalinos; por otra parte, las fracciones fúlvicas aumentan su adsorción rápidamente al pasar de la neutralidad y aunque presenta también un máximo a pH cercano a 4,0 su adsorción continúa a pH más bajos. No obstante, a valores más bajos de pH 2,5, la adsorción decrece bruscamente.

Un siguiente paso fue efectuar tres únicas adsorciones: dos para

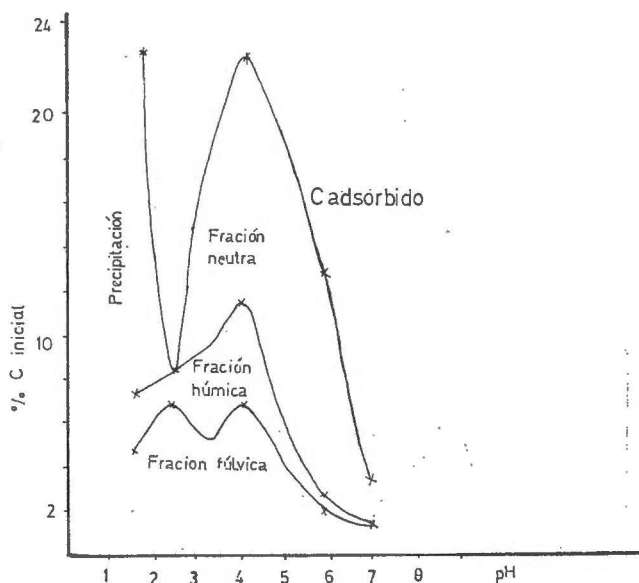


Fig. 2

aislar los máximos de adsorción de la zona básica y ácida (esto es, pH 9,8 y 4,0), y un último justo donde comienza la precipitación húmica (pH 2,6). El resultado se puede observar en la gráfica 3.

La primera fracción, que representa algo más de un tercio de los alcalinosolubles originales, se eluyen, como vimos, débilmente con HCl (menos de un 10 por 100), pero totalmente con metanol. En la segunda fracción, se adsorbe más de un tercio de las sustancias que entran en la columna (14,7 por 100 del total del carbono inicial), siendo extraídas fácilmente con NaOH diluida; poco más de un 10 por 100 resiste a la acción alcalina, aunque se eluya fácilmente con metanol. En la última fracción, se adsorbe aproximadamente un cuarto de las sustancias que entran en la columna (10,3 por 100 del carbono orgánico inicial), siendo prácticamente en su totalidad eluibles con NaOH diluido. Por tanto, poco más de un tercio del carbono orgánico alcalinosoluble

inicial quedó sin ser adsorbido, debido posiblemente a su carácter hidrófilo y que en gran parte, como vimos, se tratan de fracciones precipitables a pH inferior a 2,5.

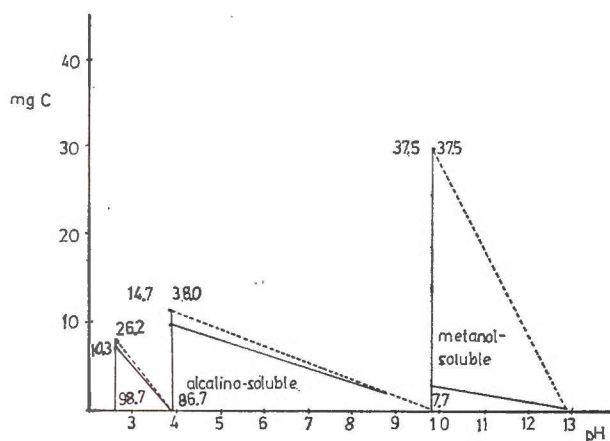


Fig. 3

5. CONCLUSIONES

A la vista de los resultados, se puede concluir que la resina XiAD-8 es un instrumento útil y esperanzador para el correcto fraccionamiento de las sustancias húmicas; así, del experimento realizado se puede deducir:

i) Las sustancias húmicas son diferenciables por su carácter hidrófilo e hidrófobo (que en el caso particular de un Chernosem representan un tercio y dos tercios respectivamente).

ii) Una considerable proporción de las sustancias húmicas hidrófobas tienen un carácter neutro (un tercio en este caso).

iii) Otras, sin embargo, poseen carácter ácido, pudiéndose fraccionar en las clásicas fracciones fúlvicas y húmicas, siendo preferentemente adsorbidas a un pH cercano a 4,0.

iv) A pH inferiores se adsorben preferentemente fracciones fúlvicas, aunque por debajo de pH 2,5 se presentan fuertes fenómenos de precipitación, por lo que el fraccionamiento se complica.

v) Con todo, se recomienda la utilización de geles poco polares y reactivos para el correcto fraccionamiento de las sustancias húmicas del suelo, tal como la resina Amberlite XAD-8.

Agradecimiento

La presente serie de trabajos ha sido posible realizarla gracias a becas postdoctorales del C. S. I. C. y de la Comisión de Intercambio Cultural entre España y los EE. UU. de Norteamérica; los autores

desean hacer constar aquí su reconocimiento a estos Organismos y al Centro de Pédologie Biologique de Nancy y Geological Survey de Denver (Colorado); también agradecen a los Dres. Jacquin, Malcolm, Vedy, Wershaw, Pinckney y Leenheer, entre otros, sus oportunas ayudas y recomendaciones.

RESUMEN

Se ha ensayado la utilización de resinas adsorbentes hidrófobas (XAD-8) en el fraccionamiento de las sustancias húmicas de un Chernozem, con resultado favorable.

*Centro de Edafología y Biología Aplicada. C. S. I. C. Salamanca.
Facultad de Farmacia. Universidad de Salamanca. Cátedra de Edafología.*

6. BIBLIOGRAFÍA

- GALLARDO, J. F., GONZÁLEZ, M. I. M. (1978). Notas sobre técnicas de investigación de sustancias húmicas. I y II. Anales de Edafología y Agrobiología, 37, 689-695 y 697-701.
- MALCOLM, R. L. (1976). Progress in Organic matter in soil and water. Comunicación inédita. W. R. D. Geological Survey, Denver (Colorado).
- MALCOLM, R. L., LEENHEER, J. A. (1973). The usefulness of Organic Carbon parameters in matter quality investigation. Inst. Environmental Sci. Proc., 39, 336-340.
- ROHM & HAAS (1976). Decoloration of Kraft pulp bleaching effluents using Amberlite XAD-8 Polimeric Adsorbent. Publicación técnica. Rohm & Haas, Filadelfia.
- VAN HALL, C. E., STENGER, V. A. (1967). An instrumental method for rapid determination of Carbonate and total Carbon in solutions. Anal. Chem., 39, 503-507.

Recibido para publicación: 24-IV-78

BIODEGRADATION AND HUMIFICATION OF ORGANIC MATTER IN HUMIFEROUS ATLANTIC SOILS

I. BIODEGRADATION *

by

M. CARBALLAS, T. CARBALLAS and F. JACQUIN

RESUMEN

BIODEGRADACION Y HUMIFICACION DE LA MATERIA ORGANICA DE LOS SUELOS HUMIFEROS ATLANTICOS. I. BIODEGRADACION

Del estudio, por incubación en condiciones controladas, de la cinética de biodegradación de sustratos carbonados (glucosa y paja de maíz, uniformemente marcados con C¹⁴) en suelos humíferos sobre granito con análoga morfología y tipos de humus que varían del moder al moder mulliforme, se concluye que si bien los factores climáticos locales provocan comportamientos diferentes durante la mineralización de los sustratos, dichos factores no bastan para explicar el proceso de acumulación de materia orgánica en algunos de estos suelos.

Los suelos humíferos de Galicia presentan valores del coeficiente de mineralización endógena anormalmente bajos y gran resistencia al ataque microbiano, por lo que la adición de sustratos biodegradables produce solo un ligero efecto estimulante sobre la mineralización de la materia orgánica preexistente. Puesto que la adición de un gel de aluminio a estos suelos provoca una fuerte disminución de los coeficientes de mineralización y un efecto depresivo sobre la mineralización de la materia orgánica preexistente, se deduce que éste es el principal agente responsable de la acumulación de materia orgánica.

Se adelanta una hipótesis sobre el mecanismo que provoca esta acumulación: por estabilización del humus frente al ataque microbiano mediante la formación de complejos organo-alumínicos entre los compuestos orgánicos aportados por la hojarasca y el Al amorfo procedente de la alteración del granito. La desestabilización del equilibrio se produciría por causas edafoclimáticas o por variaciones en la relación humus/Al amorfo.

1. INTRODUCTION

Soils developed over granitic parent material are very rich in organic matter in the region of Galicia (NW Spain) at any altitude from the shore to more than 2000 m (13, 15, 25). The same fact has also been

* This work forms part of a programme of scientific collaboration between France and Spain, costed by the Ministère des Affaires Etrangères de France, through the French Embassy in Spain

observed in other parts of Western Europe, principally in France (6, 7, 8, 27). Generally these soils present a uniform AC profile (black or very dark brown) whose A horizon, which is very humiferous, may reach a depth of up to 2 m, without any differentiation (Atlantic ranker) (13); in some cases a shallow horizon of transition (A/C or B/C) can be observed (25). Apart from the problem of their classification, which is considered in another article (14), it is difficult to understand why these soils, with high biological activity (C/N \approx 12) present such accumulation of organic matter under a temperate climate.

Preceding studies (23, 24, 25) have shown without any doubt the polygenetic character of some of these soils (Atlantic rankers) formed by periods of deposition in certain sites (talwegs) of colluvial organic material moving down the slope (13), alternating with periods of soil formation. Other studies on the organic matter of the same type of soil (3), have indicated that the humus is very stable and we have proposed the hypothesis that this is due to the protection of the humus against its biodegradation by stabilizing agents like allophanic compounds of aluminium, preliminary tests (1) having indicated the abundant presence of such compounds in these soils.

The aim of the work here described was to study *in vitro* the mechanisms of biodegradation and humification of labelled carbonaceous substrates incorporated into the soil, in order to clarify the processes of accumulation of organic matter in these types of soils. Taking into consideration recent studies on andosols (18) showing the important role played by aluminium (as an immobilizing agent) on the evolution of the humus, we have also studied the same processes by the incubation of the ^{14}C -enriched soil in the presence of a synthetic aluminium gel.

Only the results of the biodegradation are discussed here; the evolution of the humification will be studied in a forthcoming article (2).

2. MATERIAL

Our study was carried out on the A_1 horizon of three soils from Galicia: a very typical Atlantic ranker collected at an altitude of 530 m in the Sierra del Barbanza (ARB), an Atlantic ranker collected in La Guardia (ARG) close to the shore (40 m) and a pseudoalpine ranker (PRC) from the Sierra del Cañizo (1400 m), all of them included in the group of the humiferous Atlantic soils on the basis of recent considerations (14); we have likewise studied the A_1 horizon of a cryptopodzolic or pseudoalpine (4) ranker (CRV) collected at 2000 m in the Hohnneck (Vosges, France) and we also used the A_p horizon of a «lessivé» (11) brown soil (BSB) (12) from La Bouzule (Lorraine, France) by way of comparison. All samples were collected at the same period of the year between the 1st and the 30th of April 1977.

The Atlantic humiferous soils are developed under humid temperate conditions (Atlantic climate), with differences in the precipitation and temperature (Barbanza: P = 2643 mm, M. t. = 11.7 °C; La Guardia: P = 1293 mm, M. t. = 14.6), except for the pseudoalpine ranker (Cárdena, near El Cañizo: P = 1467 mm, M. t. = 6 °C) which, like the cryptopodzolic ranker, is subjected to a humid sub-alpine climate (P =

= 2000 mm, M. t. = 4 °C) and the «lessivé» brown soil, an Atlantic climate with continental influence (P = 720 mm, M. t. = 9.5 °C).

Except for the «lessivé» brown soil the vegetation is acidifying in every case: Alpine hill turf with *Nardus stricta*, *Festuca rubra* and *Vaccinium myrtillus* on the cryptopodzolic ranker, pinewood (*Pinus silvestris*) with undergrowth of *Erica australis*, *Pteropartum tridentatum*, *Halimium occidentale* and some *Gramineae* on the pseudoalpine ranker, pinewood with undergrowth of *Gramineae* exclusively in the Atlantic ranker from Barbanza and degraded heath with *Ulex nanus*, *Daboecia cantabrica*, *Pteris aquilina* and some *Gramineae* in the ranker from La Guardia.

In spite of certain climatic differences derived from the different altitudes, the morphological characteristics of the humiferous Atlantic soils are very similar to each other and there are not many differences between these and those of the cryptopodzolic ranker. All these soils have been described in earlier publications (4, 12, 14), so we merely indicate that they are desaturated sandy soils over granite, with abundance of organic matter, iron and aluminium, the latter in both exchange and free forms; the C/N is low and uniform in the whole profile. The Ap horizon of the «lessivé» brown soil is, on the contrary, almost saturated, with a less acid pH and a higher clay content but a lower amount of organic matter. Table I shows the principal analytical characteristics of the soils studied.

TABLE I

Analytical characteristics of the soils

Sample	pH	C %	O.M. %	C/N	Clay %	S/T	Al exch. meq/100 g	Al free %	Fe free %
ARB ...	4.10	11.92	20.55	12	14.50	4.0	9.92	8.10	8.70
ARG ...	4.50	5.14	8.86	13	6.92	2.9	8.00	7.50	6.60
PRC ...	4.10	8.00	13.79	12	14.05	3.2	8.32	13.60	14.20
CRV ...	4.00	13.30	22.92	13	10.70	4.0	—	7.00	19.00
BSB ...	6.80	1.90	3.28	8	29.00	95.4	—	—	—

The type of humus varies from moder (pseudoalpine and cryptopodzolic ranker) to moder mulliforme (Atlantic ranker) (4, 25) and acid mull in the «lessivé» brown soil (12).

As carbonaceous substrate we used either glucose or maize straw (22), uniformly labelled.

3. METHODS

The mineralization process was studied following the biodegradation kinetics of the substrates incorporated into the soils. The experiment

was carried out by incubation of the soil samples in the laboratory following the method described by Guckert *et al.* (16), modified as by Chone *et al.* (5), which used an intermittent air flow for aeration.

The conditions of our experiment are described below.

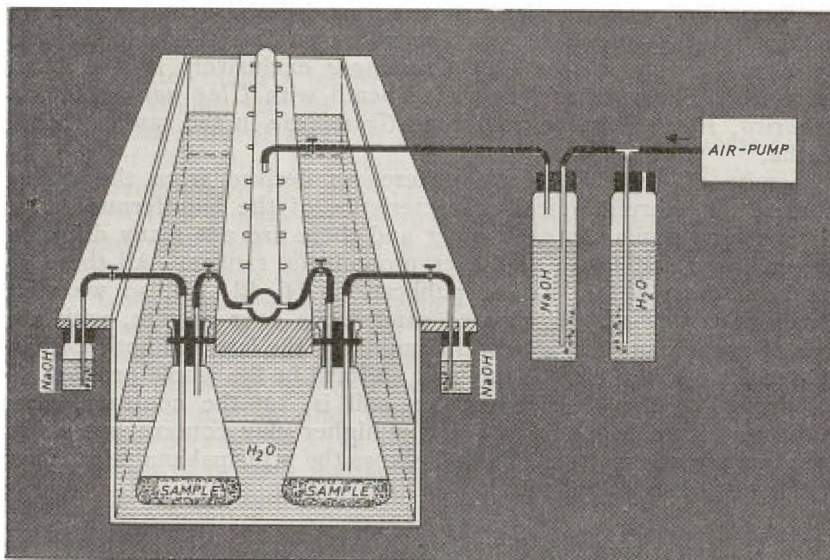


Fig 1.—The incubation device.

3.1. Incubation device

The incubator (Fig. 1) consists of a water bath equipped with thermostat and stirring device containing distilled water maintained at constant temperature. 500 ml Erlenmeyer flasks may be immersed in the bath while connected to a central tube through which air may be pumped. Before reaching the Erlenmeyer flasks, the air current is bubbled through an NaOH solution to eliminate CO_2 and through a flask of water which serves to regulate the air pressure. The resulting air current is moist and the soil samples are not desiccated. Two glass tubes pass through the bung stopping up the Erlenmeyer flasks: an inlet tube from the air current and an outlet connected to a capillary tube to which a flask of NaOH can be fitted. Bubbling through the NaOH fixes the CO_2 evolved by the soil.

3.2. Preparation of soil samples

Soil samples recently collected at from 2 to 20 cm from the surface were sieved at 4 mm after elimination of any vegetable remains.

Total carbon, equivalent humidity and percentage humidity at 110°C were determined for each sample.

3.3. *Preparation of an aluminium hydroxide gel*

An aluminium hydroxide gel was prepared by precipitation with ammonia from a chloride solution; this precipitate was dialysed, carefully desiccated at 60 °C and then pulverized. X-rays were used to verify the amorphous state of the gel.

3.4. *Preparation of labelled carbonaceous substrates*

3.4.1. *Glucose*

Since it was required to enrich the soils with 5 % on top of the total C, five aqueous solutions of non-radioactive glucose were prepared of concentrations such that this level of enrichment would be achieved by adding a quantity of glucose solution which would bring the humidity of each soil to 75 % or less of the equivalent humidity. A solution of radioactive glucose was also prepared, suitable quantities of this added to the non-radioactive solutions, and the radioactivity of the resulting mixtures determined.

3.4.2. *Maize straw*

Uniformly labelled maize straw was carefully ground to permit even mixing with the soil; afterwards the specific activity was measured.

3.5. *Incorporation of the labelled carbonaceous substrates and of the Al-gel to the soils*

¹⁴C-glucose was incorporated adding a calculated amount of labelled glucose solution, distributed homogeneously; labelled maize straw and an aluminium gel were incorporated by mixing carefully a weighed quantity with the soil.

Care was taken that the initial radioactivity be high enough to allow measurement of ¹⁴C at each stage of the experiment, especially in the case of the labelled vegetable material.

3.6. *Incubation*

After preparing the soils, samples corresponding to 30-50 g dried soil were placed into 500 ml Erlenmeyer flasks, enriched (except for the control samples) with carbon (5 % C over the initial content) and synthetic aluminium hydroxyde gel (2.13 g Al/100 g soil), brought to 75 % of the equivalent humidity and fitted to the incubation device where they were incubated at 28 °C for 22 days. This 3 week period is generally considered sufficient for the observation of the different phases of the process of biodegradation of the substrates.

Samples of Atlantic ranker from Barbanza, enriched (except for the control samples) with ^{14}C -labelled glucose in presence or in absence of the aluminium gel, underwent a further incubation for 20 days, after a period of desiccation of 7 days (in order to halt biological activity) and subsequent removal of the non-mineralized glucose by washing the samples with water until there was practically no radioactivity in the washing water. The samples were dried while fitted in the incubator, by using an aeration system providing a stream of dehumidified CO_2 -free air and raising the bath temperature to 40°C .

$\text{CO}_2/^{14}\text{CO}_2$ evolved from the samples was removed daily until the 8th day and every 2 or 3 days afterwards; it was blown out by a slow stream of moist CO_2 -free air and trapped by bubbling for 2 hours in absorption tubes containing 15 ml of 1.0 N NaOH. Aliquots from this solution were used to determine $^{14}\text{CO}_2$ and total CO_2 .

Each treatment was carried out on a minimum of 3 replicate samples, so the initial incubation involved a total of 66 Erlenmeyer flasks made up as shown in Table II: 12 empty flasks were added to check for possible contamination of the air stream by CO_2 . All samples were randomly distributed in two incubators in order to carry out a meaningful statistical analysis, except the blanks, which were placed in the middle and at the two ends of the central air tube.

At the end of the first incubation, 3 samples of every treated form of ARB and all the samples from the other soils were removed from the

TABLE II

Design of the experiment

Type of soil	g soil Erlen	C soil Erlen (mg)	Substrate added	C subs. Erlen (mg)	Radioac. added (d. p. m.)	Specific activity (dpm/mgC)	Number of replicates
ARB	30	3,576	—	—	—	—	6
»	30	3,576	glucose	178.8	18,397,895	102,897	9
»	30	3,576	glucose + Al	178.8	18,397,895	102,897	9
»	30	3,576	maize	178.8	13,755,000	76,930	3
»	30	3,576	maize + Al	178.8	13,755,000	76,930	3
PRC	50	4,000	—	—	—	—	3
»	50	4,000	glucose	200.0	27,596,840	137,984	3
ARG	50	2,570	—	—	—	—	3
»	50	2,570	glucose	128.5	11,038,736	85,905	3
CRV	50	6,650	—	—	—	—	3
»	50	6,650	glucose	332.5	55,193,680	165,996	3
BSB	50	950	—	—	—	—	3
»	50	950	glucose	47.5	11,038,736	232,394	3

incubation device and the hydrosoluble compounds were extracted immediately; afterwards, the soil samples were dried at 60 °C in an oven, ground and homogenized so as to proceed to the fractionation of the humic compounds. The same procedure was followed after desiccation except for the control samples, and at the end of the second incubation.

3.7. Analytical methods

3.7.1. Carbon

C was determined by combustion in a Carmhograph. Solid samples were ground and dried at 110 °C before the analysis. Suitable aliquots of the liquid samples were evaporated to dryness at 40 °C and the residues then analysed as solid samples.

3.7.2. Total CO₂

From 5 ml of the NaOH solution, the Na₂CO₃ formed was precipitated by 3 ml of a 20 % BaCl₂ solution and then the remaining NaOH was evaluated by HCl.

3.7.3. Radioactivity

Radioactivity was determined by liquid scintillation using a Packard counter and Instagel as scintillator.

¹⁴CO₂ was measured adding 1 ml of the alkali solution to 15 ml of Instagel. ¹⁴C from solid samples was transformed into ¹⁴CO₂ by combustion in a Carmhograph, completely trapped in NaOH solution and then measured as before.

It was expressed in disintegrations per minute (d. p. m.).

3.8. Expression of the results

In order to study and compare the rates of mineralization of the carbonaceous substrates in the different soils, the evolved CO₂ was expressed by referring it to the total C of the soil by means of the following coefficients.

$$\text{Coefficient of endogenous mineralization (CEM)} = \frac{\text{ER (mgC)} \cdot 10^3}{C_{\text{soil}} \text{ (mg)}}$$

$$\text{Coefficient of supplementary mineralization (CCM)} = \frac{(\text{TR-ER}) \cdot 10^3}{C \text{ subs. (mg)}}$$

$$\text{Coefficient of mineralization of the enriched soil (CESM)} = \frac{(\text{TR-ER}) \cdot 10^3}{C_{\text{soil}} + C_{\text{subs.}}}$$

$$\text{Coefficient of radioactive mineralization (CRM)} = \frac{R^{14}\text{C (dpm)} \cdot 10^3}{^{14}\text{C}_{\text{added}} \text{ (dpm)}}$$

ER is the C corresponding to the CO_2 of the endogenous respiration of the non-enriched soil; TR is the C corresponding to the total CO_2 evolved by the enriched samples; $R^{14}\text{C}$ is the radioactivity of the $^{14}\text{CO}_2$ evolved by the enriched samples and ^{14}C the initial radioactivity added to the samples.

The daily and cumulative evolution of these coefficients allow the kinetics of the biodegradation of the substrates to be followed.

To show up the possible «priming action» of the substrates upon the biological activity of the pre-existing organic matter Jenkinson's formulation (21) was used: $\bar{X} = (\text{TR}-\text{ER})\cdot R^{14}\text{C}$ (mg), where $R^{14}\text{C}$ is expressed in mg C taking into consideration the specific activity (dpm/mg C) of each substrate. According to Guillet (17), the comparison of the CCM and CRM curves indicates the same effect.

3.9. Significance of the results

The statistical analysis of the daily and cumulative production of CO_2 and $^{14}\text{CO}_2$ shows good reproducibility in the results, especially for $^{14}\text{CO}_2$, the dispersion not exceeding 10 %, except for the samples enriched with maize straw. This is possibly due to the heterogeneity of this material and to the difficulty of achieving a homogeneous initial distribution in the soil even when previously pulverized. The number of values rejected after applying the criterion of Chauvenet, was minimal (10 for CO_2 and 6 for $^{14}\text{CO}_2$ from a total of 2110 determinations).

4. RESULTS AND DISCUSSION

4.1. Endogenous mineralization

The cumulative curves of the daily evolution of the coefficient of endogenous mineralization (Fig. 2), and the values of these coefficients after 22 days incubation (Table III), indicate that the three Galician soils present almost the same low degree of mineralization and parallel kinetic curves; the value of this coefficient is somewhat higher for the cryptopodzolic ranker, and enormously higher in the case of the «lessivé» brown soil: the global respiratory activity of this soil is $3\frac{1}{2}$ times greater than that of the Galician rankers and twice as great as that of the Hohneck ranker. On the basis of the other characteristics of the humus of these soils, the endogenous mineralization of the Galician Atlantic rankers might have been expected to be higher, intermediate between the pseudoalpine rankers and the acid mull of the «lessivé» brown soil. It is true that, after a period of dehydration or progressive-moderate desiccation (Fig. 9), the mineralization of the Barbanza Atlantic ranker (ARB) increases sharply due to rehumidification (which seems to indicate that mineralization processes are favoured by wet-dry cycling), but the absolute value of the coefficient remains very low (Table III).

Since the 5 soils were incubated under favourable simulated climatic conditions, it may be concluded that the mineralization of the native organic matter of the humiferous Atlantic soils is repressed by a non-climatic factor detrimental to biological activity.

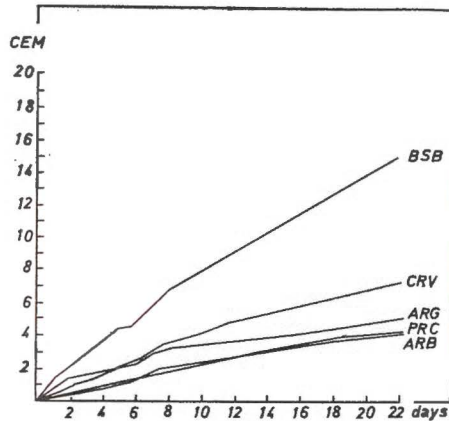


Fig. 2.—Cumulative curves of the coefficient of endogenous mineralization: ARB, Atlantic ranker (Barbanza); PRC, Pseudoalpine ranker (Cañizo); ARG, Atlantic ranker (La Guardia); CRV, Cryptopodzolic ranker (Vosges); BSB, «lessivé» brown soil (Lorraine).

The CEM, evaluated under determined conditions of temperature, humidity and aeration, depends, according to Dommergues (9), on: a) the relative soil content of easily biodegradable organic fractions; b) the general soil environment factors; c) physico-chemical processes (adsorption of soil colloids, polymerization, etc.) which stabilize or protect organic matter against microbial attack; and d) the composition of the microflora. In other words, this coefficient reflects the richness of the soil in easily mineralizable carbon substrates and the degree to which microbial activity is affected by factors in the soil environment other than those controlled during incubation.

The Galician soils, in spite of possessing a rich fresh organic matter fraction (2), present very low values of endogenous mineralization; since other indices (the C/N ratio) indicate high biological activity in these soils, it is logical to think that some other cause of a physico-chemical nature is responsible for this deceleration of mineralization.

NB. As Yaghi (28) found, the endogenous mineralization varies greatly according to the time of year at which samples are collected: for the «lessivé» brown soil, for example, it is higher in October than in March. This would explain why the coefficient found by us for samples of «lessivé» brown soil collected in April (14.95) is so much

TABLE III
Coefficients of mineralization

Type of soil	Treatment	CEM		CCM		CRM		CESM	
		M ₁	M ₂	M ₁	M ₂	M ₁	M ₂	M ₁	M ₂
Atlantic ranker (Barbanza)	—	4.19	7.04	—	—	—	—	—	—
» » »	glucose	—	—	616	81.16	524	75	29.31	3.86
» » »	Al + glucose	—	—	355	45.85	369	125	16.82	2.18
» » »	maize	—	—	269	—	222	—	12.79	—
» » »	Al + maize	—	—	134	—	128	—	63.8	—
Pseudoalpine ranker (Cañizo)	—	4.22	—	—	—	—	—	—	—
» » »	glucose	—	—	584	—	457	—	27.82	—
Atlantic ranker (La Guardia)	—	4.89	—	—	—	—	—	—	—
» » »	glucose	—	—	625	—	525	—	29.77	—
Cryptopodzolic ranker (Vosges)	—	7.27	—	—	—	—	—	—	—
» » »	glucose	—	—	525	—	430	—	24.98	—
«Lessivé» brown soil (Lorraine)	—	14.95	—	—	—	—	—	—	—
» » »	glucose	—	—	711	—	403	—	33.83	—

less than that obtained by Yaghi (26.28), collected in October. Thus, both in studies upon a single soil and in comparative studies of different soils, it is necessary to collect samples under conditions which are comparable when the vegetation and the pedoclimatic conditions have been taken into account, and to keep them in the refrigerator until the time comes to use them.

4.2. Mineralization of the enriched soils

The addition of an easily biodegradable labelled carbonaceous substrate, glucose, to each of the soils studied gave rise to skew bell-shaped curves of CO_2 and $^{14}\text{CO}_2$ given off which, though characteristic of their soils (Figs. 3 and 4), may on inspection be divided into 3 groups corresponding to three different types of behaviour with respect to input of carbonaceous substrates. The same tendency is to be seen in the oval cumulative respirometric curves of Figs. 5 and 6.

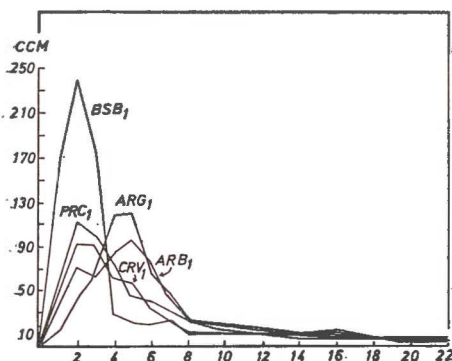


Fig. 3.—Daily coefficients of supplementary mineralization of the soils: ARB, Atlantic ranker (Barbanza); PRC, Pseudoalpine ranker (Cañizo); ARG, Atlantic ranker (La Guardia); CRV, Cryptopodzolic ranker (Vosges); BSB, «lessivé» brown soil (Lorraine), enriched with glucose.

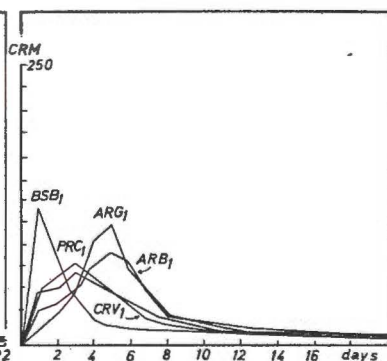


Fig. 4.—Daily coefficients of radioactive mineralization of the soils: ARB, Atlantic ranker (Barbanza); PRC, Pseudoalpine ranker (Cañizo); ARG, Atlantic ranker (La Guardia); CRV, Cryptopodzolic ranker (Vosges); BSB, «lessivé» brown soil (Lorraine), enriched with glucose.

The adaptation of the soil to the added substrate is practically instantaneous in the «lessivé» brown soil; a short adaptation period is needed by both pseudoalpine rankers; and the two Atlantic rankers are more recalcitrant. The same tendency is observed in the exponential phase, reflecting the ability of the microflora to utilize the substrate: the peak of respiratory activity is reached after 48 hours by the «lessivé» brown soil and the two pseudoalpine rankers, but only on the fifth day by the two Atlantic rankers (Fig. 3). The differences are clearer still in the curves of $^{14}\text{CO}_2$ evolved (Fig. 4), where the peaks appear on the

first, the third and the fifth day respectively. The degree of mineralization of the enriched soil (CESM) is greatest for the «lessivé» brown soil (Table III and Fig. 5) and least for the cryptopodzolic ranker, increasing from the more dystrophic humus types to the more eutrophic (Table III and Fig. 5). It would seem, therefore, that mineralization is

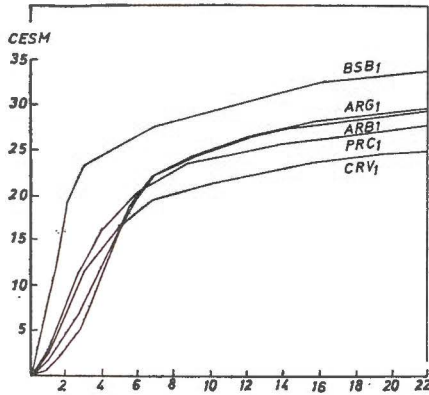


Fig. 5.—Cumulative curves of the coefficient of mineralization of the soils: ARB, Atlantic ranker (Barbanza); PRC, Pseudoalpine ranker (Cañizo); ARG, Atlantic ranker (La Guardia); CRV, Cryptopodzolic ranker (Vosges); BSB, «lessivé» brown soil (Lorraine), enriched with glucose.

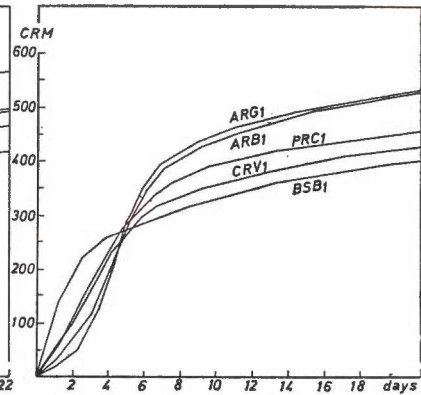


Fig. 6.—Cumulative curves of the coefficient of radioactive mineralization of the soils: ARB, Atlantic ranker (Barbanza); PRC, Pseudoalpine ranker (Cañizo); ARG, Atlantic ranker (La Guardia); CRV, Cryptopodzolic ranker (Vosges); BSB, «lessivé» brown soil (Lorraine), enriched with glucose.

stimulated and that the addition of carbonaceous substrates modifies the turnover of organic matter differentially in agreement with the classical scheme by which biological activity increases from mor to mull. Nevertheless, it is necessary to know the origin of the organic matter mineralized, since the CO_2 evolved may derive either from the added substrate or from the preexisting organic matter.

Since the added glucose was uniformly labelled, all $^{14}\text{CO}_2$ given off during the incubation must derive from the added substrate, the CRM showing its degree of mineralization (Table III). Also, Figs. 4 and 6 show the daily and cumulative evolution of this coefficient. It may be observed in Fig. 6 that although the evolution is initially similar to that of Fig. 5, a remarkable inversion comes about towards the fifth day, and by day 22 the total quantity of glucose mineralized is greater in the Atlantic ranker than in the «lessivé» brown soil. This inversion of the order of mineralization of radioactive substrates was also found in other cases (5).

It is clear that if all CO_2 given off during incubation of the enriched soil come from the mineralization of labelled substrate, the curves in Figs. 3 and 4 would coincide. Inspection shows that this is not so, not only the shape of the curves but also the height of the peaks differing.

This indicated that the addition of the substrate modified the endogenous respiration of the soil and consequently the turnover of the pre-existing organic matter.

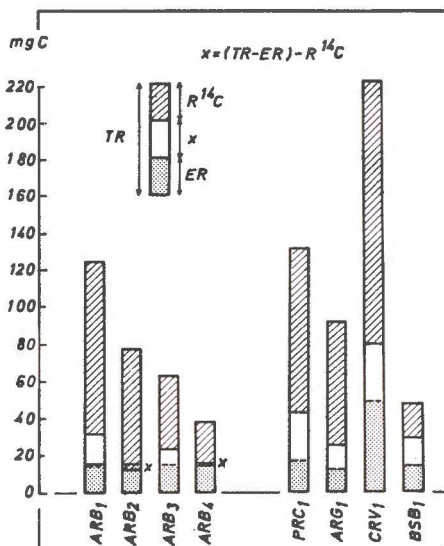


Fig. 7.—Priming action of the effect of the substrates upon preexisting organic matter of the soils: ARB, Atlantic ranker (Barbanza); PRC, Pseudoalpine ranker (Caffizo); ARG, Atlantic ranker (La Guardia); CRV, Cryptopodzolic ranker (Vosges); BSB, «dessivé» brown soil (Lorraine). 1, glucose; 2, Al + glucose; 3, maize; 4, maize + Al.

This effect is shown up by applying Jenkinson's formula (Fig. 7) and comparing for each soil the cumulative curves of the coefficient of supplementary mineralization and that of radioactive mineralization (Fig. 8). Inspection of these figures shows that in all cases there is a stimulant or positive priming action on the mineralization of the pre-existing organic matter, that is to say, in the presence of the added metabolizable substrate, the biodegradation of the pre-existing organic matter increases. This effect is much more pronounced in the «dessivé» brown soil (Fig. 8) than in any of the rankers, thus explaining the inversion of the curves in Fig. 6.

If the pre-existing organic compounds are highly polymerized and, above all, if they are poorly biodegradable, the microflora utilizes preferentially the added substrates (depressive effect or negative priming action); if the pre-existing compounds are humified and labile, the stimulated microflora will increase the mineralization of this organic matter: there is a stimulant effect or positive priming action (17, 21).

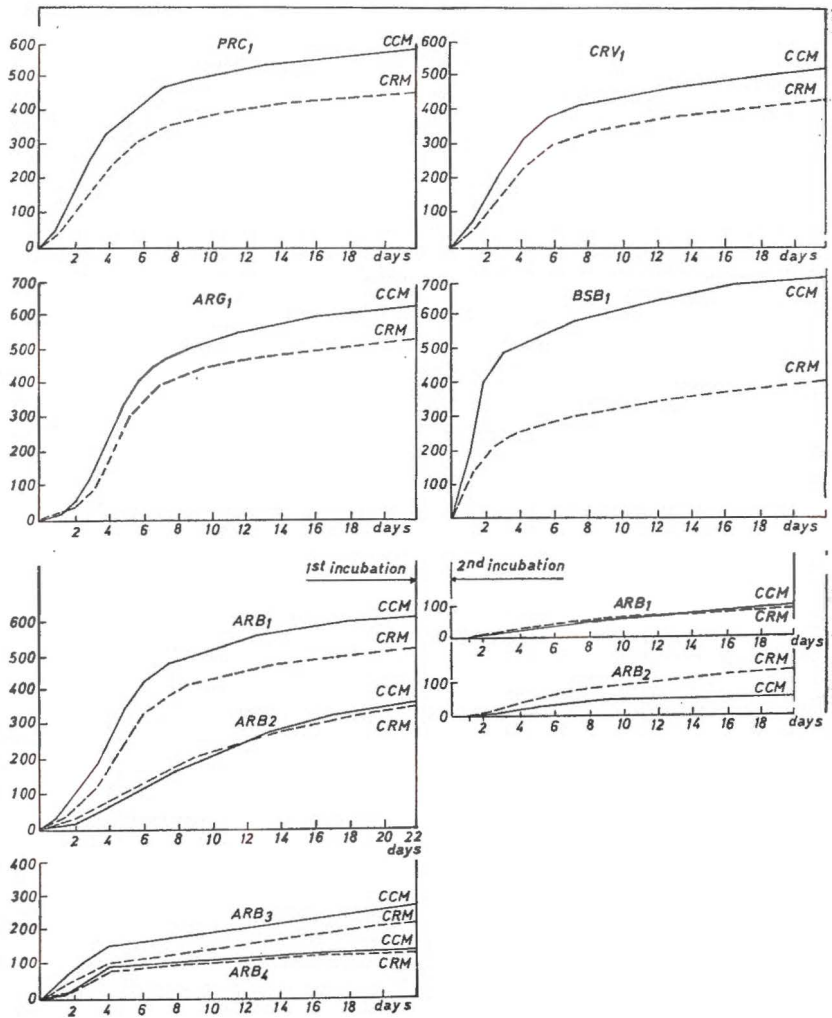


Fig. 8.—Effect of the added substrates upon the endogenous mineralization of the soils: ARB, Atlantic ranker (Barbanza); PRC, Pseudoalpine ranker (Cañizo); ARG, Atlantic ranker (La Guardia); CRV, Cryptopodzolic ranker (Vosges); BSB, «lessivé» brown soil, enriched with glucose (1), glucose + Al (2), maize (3) and maize + Al (4). Comparison of the daily coefficients of supplementary mineralization $CCM = \frac{(TR-ER) \cdot 10^3}{C_{subs.}}$ and radioactive mineralization

$$CRM = \frac{R^{14}C \cdot 10^3}{^{14}C_{added}}$$

We are dealing, therefore, with labile humified matter, more labile in the «lessivé» brown soil than in the Atlantic ranker, since the effect is more marked in the former. In other words, the humus of the Atlantic ranker offers more resistance to mineralization, i. e. is more protected against microbial attack.

— During the dehydration of the Atlantic ranker from the Barbanza a degree of activity is maintained, as is shown by a certain amount of $^{14}\text{CO}_2$ being evolved (Fig. 10). After the desiccation period and the elimination of non-mineralized glucose, weak mineralization of the humified organic matter may be observed, representing about 10 % of the primary mineralization (Table III). The cumulative mineralization curve (Fig. 9) follows the same pattern. The CCM and CRM curves merge (Fig. 8) showing that the mineralization only affects those humic compounds in which radioactive carbon is incorporated.

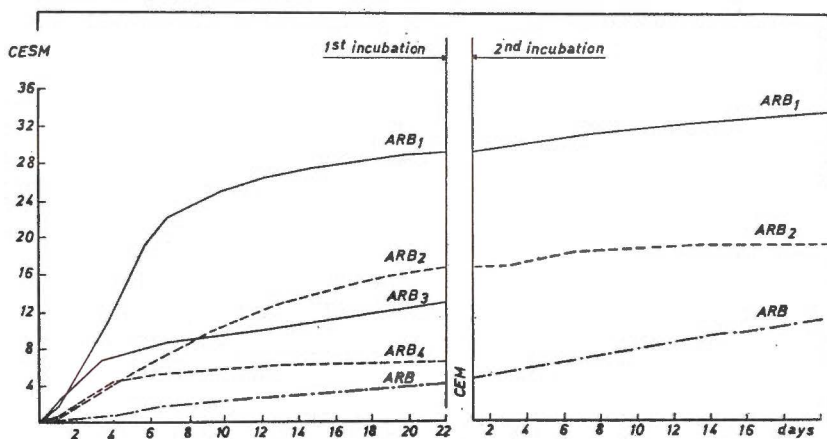


Fig. 9.—Cumulative curves of the coefficient of endogenous mineralization of the Atlantic ranker from the Barbanza (ARB) and of the mineralization of the same soil enriched with glucose (1); Al + glucose (2); maize (3) and Al + maize (4).

— The addition of uniformly labelled maize, a substrate difficult to break down, results in a «lazier» ogival cumulative mineralization curve (Fig. 9). The value of the coefficient falls to less than half the value for glucose, and the same goes for the CRM (Fig. 10). As for glucose there is a positive priming effect upon the mineralization of the pre-existing organic matter, albeit less marked (Fig. 8).

— The addition to this soil of an artificial aluminium gel blocks mineralization, as is shown by a striking fall in the coefficients of mineralization (CCM and CRM, Table III) in the soil enriched with glucose or with maize (Figs. 9 and 10). The period of adaptation of the soil to the substrate is lengthened, the ability of the microflora to utilize the substrate diminishes and the peak is delayed (20). Nevertheless, the Al does not seem to act as a toxic agent, since we do not find the

mineralization curves typical of the mineralization of toxic primary or secondary substances (9): on the contrary, the shape of the curve is retained, only the intensity of the process having changed (Figs. 9 and 10). The action seems rather to be of a physico-chemical nature, i. e. due to an insolubilization phenomenon. This could not be simple adsorption (18, 26) since the behaviour with respect to the microflora is altered: rather, the humic compounds must be trapped within the mesh of the amorphous substances.

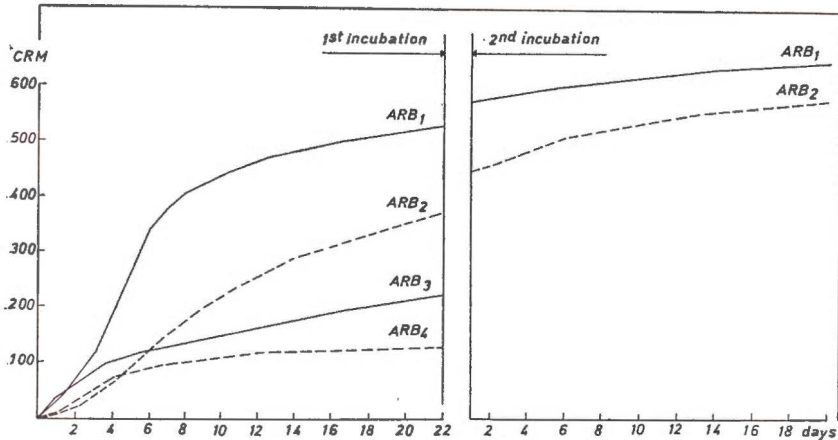


Fig. 10.—Cumulative curves of the coefficient of radioactive mineralization of the Atlantic ranker from the Barbanza (ARB) enriched with glucose (1); Al + glucose (2); maize (3); and Al + maize (4).

After dehydration and elimination of hydrosolubles, a certain amount of mineralization continues, representing as before about 10% of the primary mineralization for total C and 34% for ^{14}C (Table III, Figs. 9 and 10).

Inspection of Figs. 7 and 8 shows that the addition of the Al gel to the glucose-enriched Atlantic ranker does not as before cause priming of the mineralization of the pre-existing organic matter. On the contrary, a slight depressive effect (negative priming action) is evident, indicating that the microflora, stimulated by the addition of an easily biodegradable substance, utilize this latter preferentially. The endogenous respiration of the soil is, however, only slightly affected, i. e. not only the pre-existing organic matter but also the added substrate have become more resistant to mineralization, more protected. This is shown more clearly during reincubation when the microflora utilize preferentially the radioactive humified substrate.

5. CONCLUSION

From our study of the biodegradation kinetics of carbonaceous substrates in various humiferous soils of analogous morphology and

presenting humus types varying in classical terms from moder to mulliform moder, it may be concluded that, although local climatic factors influence the behaviour of these soils as regards the mineralization of the substrates, these factors are not sufficient to explain the process of accumulation of organic matter in these soils.

The humiferous soils in Galicia present abnormally low coefficients of endogenous mineralization. Further direct evidence of the protection against microbial attack of the organic matter in Atlantic rankers is provided by consideration of the priming effect of the substrates added during the experiments upon the endogenous mineralization. Although the addition of a biodegradable carbonaceous substrate resulted in a global increase in mineralization in all the soils studied, in the expected order («lessivé» brown soil > Atlantic ranker > pseudoalpine ranker > > cryptopodzolic ranker), the priming effect upon the mineralization of pre-existing organic matter is much less in the Atlantic ranker than in the «lessivé» brown soil. Since the addition of an aluminium gel to this soil brings about a striking drop in the coefficients of mineralization and a negative priming action, we deduce that this is the agent principally responsible for the accumulation of organic matter in humiferous soils over granite.

On the basis of the overall results of this study and, especially, of the experiments carried out on the Atlantic ranker from Barbanza (20), we may put forward the hypothesis that the process giving rise to the accumulation of organic matter in the humiferous Atlantic soils is analogous to that occurring in the Andosols (18). In the humus classification scheme recently established by Duchaufour (10, 11), the humus of this soils would be intermediate between «highly transformed humified humus» and «little transformed humus», possessing as it does properties common to both these types of humus.

The process might be as follows :

An input to the soil of fresh debris in favourable conditions of humidity and with sufficient available nitrogen is biodegraded more or less rapidly according to the type of litter. Aggressive organic compounds are formed which produce alteration of the granite by solubilization, and large quantities of silica, alumina (allophanes?) and to a lesser extent, iron, are liberated. These compounds are immediately insolubilized by the formation *in situ* of organo-mineral complexes, especially with aluminium (10). As a consequence, mineralization is blocked, the amorphous compounds of Al (and possibly, to a lesser degree, Fe) protecting organic matter against microbial attack. According to Wada (26) and Hetier (18), for this protection to be effective the humic substances must penetrate within the mesh of the amorphous compounds. Although the humus may continue to evolve here, the resulting structure is very stable with respect to biodegradation.

This process both prevents the downward emigration of Fe and Al and impedes the formation of clay by removing part of the components from the crystallization process.

The equilibrium of the humus would depend on the relation between the incoming litter and the percentage of Al and Fe liberated from the rock or supplied by the litter itself. Disequilibrium might be the result

of pedoclimatic changes or a change in the humus/amorphous ratio. A rise in the quantity of metabolizable organic matter, without a corresponding change in the quantity of amorphous Al, would increase the degree of mineralization; whereas an increase in amorphous Al would tend to stabilize the organic matter and block its mineralization, giving rise to an accumulation of organic matter and regained equilibrium.

This study shows that the genesis and evolution of the humus of the soils considered depends on factors of a biochemical nature in which the aluminium ion plays a predominant role. It remains, however, to investigate the structure and evolution of the complexes formed.

Acknowledgements

The authors thank the staff of the Soil Science laboratory of the E. N. S. A. I. A. (Nancy, France) for their help. Thanks are also due to Sr. Caballo who has drawn all the figures for this paper.

SUMMARY

From the study (by incubation under controlled conditions) of the biodegradation kinetics of carbonaceous substrates (uniformly labelled glucose and maize straw) in granitic humiferous soils of similar morphology and presenting humus types ranging from moder to mulliform moder, it is concluded that although local climatic factors influence their behaviour as regards the mineralization of the substrates, these factors are not sufficient to explain the process of accumulation of organic matter in these soils.

The humiferous soils in Galicia present abnormally low coefficients of endogenous mineralization and great resistance to microbial attack, the addition of biodegradable substrates producing but a weak priming effect upon the mineralization of pre-existing organic matter. Since the addition of an aluminium gel to these soils brings about a striking drop in the coefficients of mineralization and has a «negative priming action», it is deduced that this is the agent principally responsible for the accumulation of organic matter.

A hypothesis concerning the mechanism which gives rise to this accumulation is proposed: stabilization of the humus against microbial attack due to the formation of organic-Aluminium complexes between the organic compounds deriving from litter and amorphous Aluminium from the weathering of the granite. Stability might be lost as a result of pedoclimatic changes or a change in the humus/amorphous Al ratio.

*Dep. Edafología (Univ. Santiago, Spain), Inst. Inv. Agrob. Galicia
(C. S. I. C., Spain), Lab. Science du Sol (E. N. S. A. I. A.,
Nancy, France).*

BIBLIOGRAPHY

- (1) CARBALLAS, M. Contribución a la génesis del ranker atlántico. Tesis doctoral, Facultad de Biología (in progress).
- (2) CARBALLAS, M., CARBALLAS, T., JACQUIN, F. (1978). Biodegradation and humification of organic matter in humiferous Atlantic Soils. II. Humification. *An. Edaf. Agrob.* (in press).
- (3) CARBALLAS, M., CARBALLAS, T., RODRÍGUEZ SEOANE, P. (1978). Estudio de la materia orgánica del ranker atlántico. III. Distribución del nitrógeno y contenido en aminoácidos. 1. Ácidos húmicos. *Trabajos Compostelanos de Biología*, 7, 103-127.
- (4) CARBALLAS, T., DUCHAUFOUR, PH., JACQUIN, F. (1967). Evolution de la matière organique des rankers. *Bull. E. N. S. A., Nancy*, IX, 20-28.

- (5) CHONE, TH., JACQUIN, F., YAGHI, M. (1974). Emploi de ^{14}C et ^{45}Ca comme éléments traceurs de l'humification. Bull. E. N. S. A. I. A., Nancy, XV, 69-85.
- (6) COPPENET, M. (1969). Les sols de la Galice comparés aux sols de la Bretagne occidentale. Science du Sol, 43-56.
- (7) DEJOU, J., GUYOT, J., MORIZET, J. (1968). Juxtaposition de sols noirs, très riches en matière organique, et de sols bruns acides sur leucogranites dans la région d'Eymoutiers-Peyrat-Le-Chateau (Haute-Vienne). Ann. Agron., 19, 511-539.
- (8) DEJOU, J. et al. (1969). Les sols noirs, très riches en matières organiques reposant sur leucogranites dans la région d'Eymoutiers-Peyrat-le-Chateau (Haute Vienne). Ann. Agron., 20, 517-526.
- (9) DOMMERGUES, Y. (1968). Dégagement tellurique du CO_2 . Mesure et signification. Rapport général. Ann. Inst. Pasteur, 115, 627-656.
- (10) DUCHAUFOUR, PH. (1976). Dynamics of organic matter in soils of temperate regions: its action on pedogenesis. Geoderma, 15, 31-40.
- (11) DUCHAUFOUR, PH., SOUCHIER, B. (1977). Pédologie. I. Pédogenèse et Classification, Masson, Paris, 477.
- (12) FLORENTIN, L. (1977). Pédologie et drainage en Lorraine. D. E. A. d'Agro-Eco-Pédologie. Inst. Nat. Polytechnique de Lorraine, Univ. Nancy I (France), 50.
- (13) GUITIÁN OJEA, F., CARBALLAS, T. (1968). Suelos de la zona húmeda española. III. Ranker atlántico. An. Edaf. Agrob., 27, 57-73.
- (14) GUITIÁN OJEA, F., CARBALLAS, T., CARBALLAS, M. (1980). Suelos humíferos atlánticos. Geoderma (in press).
- (15) GUITIÁN OJEA, F., MUÑOZ TABOADELA, M., CARBALLAS, T. et al. (1964-1968). Suelos Naturales y Mapas de Suelos de las provincias de Lugo, Orense, Pontevedra, Oviedo y Santander. Inst. Nac. Edafología, C. S. I. C., Madrid.
- (16) GUCKERT, A., ROGER, P., JACQUIN, F. (1968). Contribution à l'utilisation de techniques radioisotopiques pour l'étude de la matière organique du sol. Bull. E. N. S. A., Nancy, 10, 69-100.
- (17) GUILLET, B., CHONE, TH., YAGHI, M., JACQUIN, F. (1973). Turnover de la matière organique d'horizons Bh de podzols, Bull. E. N. S. A. I. A., Nancy, XV, 85-91.
- (18) HETIER, J. M. (1975). Formation et évolution des andosols en climat tempéré. Doctoral thesis, Université de Nancy (France), 244.
- (19) JACQUIN, F. (1978). Influence de la matière organique sur la structure du sol; 11th Congress ISSS, Edmonton (Canada), Symposia papers, 3, 369-382.
- (20) JACQUIN, F., CARBALLAS, M., CARBALLAS, T. (1978). Interaction entre les ions aluminium et la minéralisation de la matière organique dans les sols humifères atlantiques. C. R. Acad. Sc., Paris, 286D, 511-514.
- (21) JENKINSON, D. S. (1971). Studies on the decomposition of ^{14}C labelled organic matter in soil. Soil Sci., 111, 64-70.
- (22) LESPINAT, P., HETIER, J. M., THOMAN, CH., CHONE, TH. (1976). Utilisation des parties aériennes d'un maïs uniformément marqué par d'études d'humification. Science du Sol, núm. 1, 53-66.
- (23) MÜCHER, H. J., CARBALLAS, T., GUITIÁN OJEA, F., JUNGERIUS, P. D., KROONENBERG, S. B., VILLAR, M. C. (1972). Micromorphological analysis of effects of alternating phases of landscape stability and instability on two soil profiles in Galicia, N. W. Spain. Geoderma, 8, 241-266.
- (24) RODRÍGUEZ SEOANE, P. (1973). Contribución al estudio de la materia orgánica del suelo (Ranker atlántico). Doctoral thesis, Facultad de Ciencias Químicas, Santiago, 320.
- (25) RODRÍGUEZ SEOANE, P., CARBALLAS, T., GUITIÁN OJEA, F. (1975). Estudio de la materia orgánica del ranker atlántico. I. Caracterización general. An. Edaf. Agrob., 34, 137-153.
- (26) WADA, K., INOUE, T. (1967). Retention of humic substances derived from rotted clover leaves in soils containing montmorillonite and allophane. Soil Sci. Pl. Nutr., 13, 9-16.
- (27) WARENBOURG, F. R., LOSSAINT, P., BOTTNER, P. (1973). L'évolution des sols dans une séquence bioclimatique méditerranéo-montagnarde sur roche-mère siliceuse: Massif du Mont Aigoual. Bull. A. F. E. S., núm. 1, 49-61.
- (28) YAGHI, M. (1973). Action de certains substrats carbonés sur l'humification de la matière organique de divers sols. Thèse, Faculté Sciences, Nancy, 59.

INFLUENCIA DE LA ACCION METABOLICA DE MICROORGANISMOS EDAFICOS SOBRE COLOIDES INORGANICOS DEL SUELO

por

A. HERNANSAEZ, A. ORTUÑO y J. ALBALADEJO

SUMMARY

INFLUENCE OF METABOLIC ACTION OF EDAPHIC MICROORGANISMS ON INORGANIC COLOIDS OF THE SOIL

In this paper is studied the metabolic action of edaphic microorganisms on filosilicates of the clay fraction of the typical calcareous soils of Spanish Southeast.

At the same time is studied the identification of metabolic compounds produced, because «in vitro» we had evidence of the selfintoxication they suffer due to excretion products.

INTRODUCCIÓN

El estudio de los sistemas microbioquímicos formados por un microorganismo edáfico, minerales de la fracción arcilla y un herbicida, constituye una línea de investigación sobre la que se viene trabajando en nuestros laboratorios (8, 9, 10).

Indudablemente, el comportamiento de estos sistemas es de gran interés desde un punto de vista agrícola por diversos factores como pueden ser entre otros: la probable acción inhibidora de los herbicidas sobre el desarrollo de los microorganismos; influencia tanto del herbicida como de sus metabolitos sobre los minerales de la arcilla; identificación de los productos de metabolismo que pueden ejercer cierta influencia en el desarrollo del suelo y nutrición vegetal; y finalmente, el posible efecto de autointoxicación por metabolitos en los microorganismos edáficos.

Sobre las interacciones entre las s-triazinas y los minerales de la arcilla se tiene un elevado nivel de conocimiento, y parece ser que el herbicida experimenta una protonación con la subsecuente formación de enlace con determinados minerales de arcilla, manteniendo el herbicida, en estos casos, una relativa capacidad para los organismos (1, 6, 7, 13). En este sentido, en un trabajo anterior (8) se ha comprobado que el único mineral de la arcilla que forma enlaces con la simazina es la montmorillonita. La unión entre los herbicidas catiónicos y los minerales de la arcilla se produce a través de las cargas negativas superficiales de las arcillas, por lo tanto parece lógico pensar que los cationes metálicos

presentes en el sistema influirán sobre la adsorción del herbicida (8, 12, 14).

En cuanto al papel de los microorganismos del suelo en el comportamiento de los herbicidas no se conoce bien por ahora, así como su capacidad para degradar las s-triazinas. Lo mismo se podría decir en lo que respecta a la identificación de los metabolitos de los microorganismos del suelo y a su posible efecto de toxicidad.

En la presente publicación se da cuenta del trabajo realizado con sistemas microbioquímicos en los que forman parte *Rhizobium japonicum* y *Chlorella pyrenoidosa*.

PARTE EXPERIMENTAL

Material y métodos

Extracción, tratamientos y determinaciones en la fracción arcilla

Para la extracción de la fracción arcilla, a fin de proceder a su posterior estudio, se ha verificado las siguientes operaciones:

Eliminación de carbonatos. Método de Ostrom (11).

Eliminación de materia orgánica. Método de Kunze (3).

Eliminación de óxidos de Fe y Al. Método de Mehra y Jackson (2, 5).

Los difractogramas se han obtenido mediante la utilización de un equipo Philips provisto de goniómetro vertical y panel electrónico de registro.

Metodología: microorganismo y substratos

Hemos utilizado para estas experiencias una raza de *Rhizobium japonicum*, procedente de nódulos de soja de cultivos experimentados en campo, y *Chlorella pyrenoidosa*.

Para estudiar la influencia de la simazina en el crecimiento de los microorganismos estudiados, se han tomado series de bloques de diez tubos de ensayo con 9 ml. cada uno de medio específico estéril, la correspondiente concentración de simazina y 500 mgs de suelo ó 50 mgs de arcilla, según los diferentes sistemas microbioquímicos:

- I. Substrato + suelo calizo + microorganismo + simazina.
- II. Substrato + suelo calizo salino + microorganismos + simazina.
- III. Substrato + arcilla de suelo calizo + microorganismo + simazina.
- IV. Substrato + arcilla de suelo calizo salino + microorganismo + simazina.
- V. Substrato + microorganismo + simazina.

Preparamos diez concentraciones de simazina [2-cloro, 4,6 bis (etilamino)-s-triazina], teniendo en cuenta su solubilidad en agua (8).

Unas series fueron inoculadas con *Rhizobium japonicum* y otras con

Chlorella pyrenoidosa, realizándose las manipulaciones en cámara estéril de flujo laminar.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Rhizobium japonicum

Al efectuar los correspondientes difractogramas del cultivo de *Rhizobium japonicum* con la arcilla en el medio anteriormente indicado, se observa que el pico de 13 Å, correspondiente a la montmorillonita, desaparece debido al aumento del espaciado interlaminar de dicho filosilicato por la adsorción de diversos compuestos presentes en el sistema microbioquímico. Este hinchamiento ocurre tanto con la presencia de simazina como sin ella.

Se puede observar al mismo tiempo que aparece un pico muy neto e intenso a 6,12 Å, que corresponde a un producto de metabolismo de *Rhizobium*, identificado como ácido oxálico, comprobándose que éste

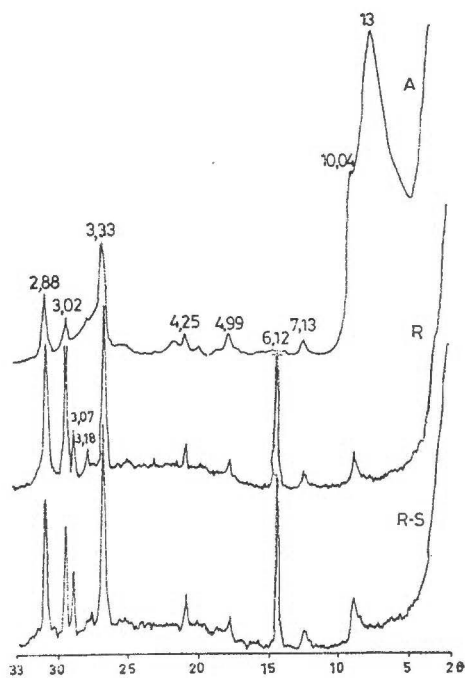


Fig. 1.—A) Difractograma de la fracción arcilla. R) Arcilla + *Rhizobium*. R-S) Arcilla + *Rhizobium* + simazina.

no se forma en medio ácido. El mismo comportamiento metabólico se ha puesto también de manifiesto en un trabajo anterior con *Aspergillus niger* (10).

En la figura 1 se puede comprobar que el ácido oxálico se produce prácticamente con la misma intensidad cuando el herbicida está presente como cuando no lo está, lo que parece indicar que no hay una acción inhibitoria de la simazina, a la concentración utilizada en esta experiencia, sobre el desarrollo del microorganismo.

Chlorella pyrenoidosa

Los correspondientes difractogramas (fig. 2) nos muestran que tras el cultivo de *Chlorella pyrenoidosa* en presencia de la arcilla, se produce un aumento del espaciado interlaminar de la montmorillonita, al tiempo que aparecen unas reflexiones a 3,24 y 3,19 Å, de muy poca intensidad, que tal vez correspondan a algún producto de metabolismo.

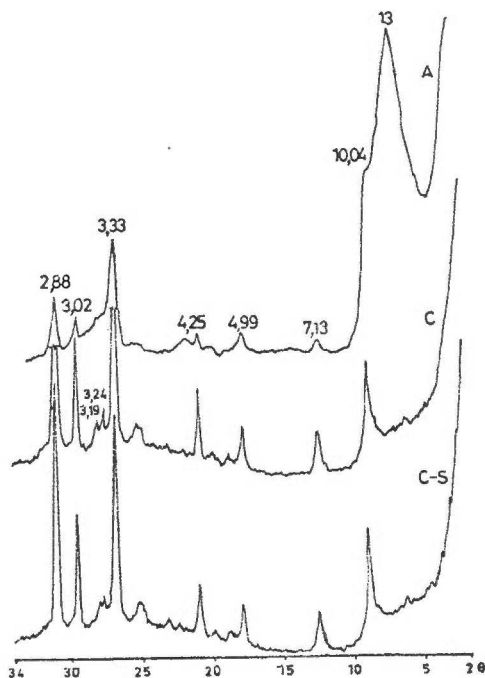


Fig. 2.—A) Difractogramas de la fracción arcilla. R) Arcilla + *Chlorella*. CS) Arcilla + *Chlorella* + simazina.

La no existencia de unas inflexiones debidas a productos de metabolismo, en los difractogramas de la figura 2, no nos permite hacer consideraciones acerca de la posible acción inhibitoria de la simazina. Sin embargo, se ha observado el desarrollo del microorganismo «in vitro», sin apreciarse diferencias debidas a la acción de la simazina en el substrato. Tampoco hay diferencias en los difractogramas, realizados tras el cultivo, con la presencia de simazina o sin ella.

Asimismo, para estudiar el efecto de la luz en el desarrollo del microorganismo, se han realizado cultivos con intensidades luminosas diferentes, no apareciendo en los correspondientes difractogramas, diferencias en el comportamiento del sistema microbioquímico (fig. 3).

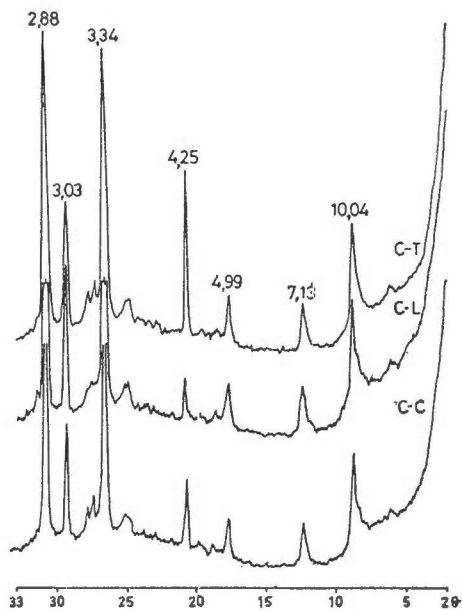


Fig. 3.—Difractogramas correspondientes al cultivo al sol (C-T), en cámara Conviron (C-L) y en cámara oscura (C-C).

Es de resaltar que de los tres microorganismos edáficos estudiados hasta ahora, *Aspergillus* (8), *Rhizobium* y *Chlorella*, precisamente en este último no se presenta en los substratos ácido oxálico como producto de metabolismo.

Un efecto digno de resaltar que se produce en *Rhizobium* y también en *Chlorella* es el considerable aumento de la intensidad de los picos a 3,02 y 2,88 Å, que, como se puede apreciar en la figura 1, aparecen débilmente en el difractograma de la fracción arcilla. Para tratar de diferenciar si se trata de productos de metabolismo o no, se han realizado diversas experiencias.

En primer lugar se efectuó un ensayo con la fracción arcilla y el medio de cultivo, sin inocular el microorganismo, y en el correspondiente difractograma se detectó el pico de 3,02 Å.

Al mismo tiempo se trató de separar los posibles productos de metabolismo, para lo cual se realizó una extracción con agua y el resultado fue totalmente negativo. Posteriormente, se realizaron extracciones con disolventes orgánicos, utilizando la siguiente serie: eter, acetato de etilo, tricloroetileno y butanol. Todos los extractos se llevaron a sequedad y se efectuaron los difractogramas correspondientes, no observándose nin-

guna reflexión en ellos. Con los residuos que quedaron tras las extracciones, se realizaron otros difractogramas en los que aparecen claramente las inflexiones a 2,88 y 3,02 Å.

Por lo anteriormente expuesto, se considera que los picos de 2,88 y 3,02 Å, no corresponden a productos de metabolismo, sino que se trata de un cambio de orientación de los minerales de la arcilla con el consiguiente aumento de la intensidad de las reflexiones correspondientes a dichos espaciados.

RESUMEN

En la presente comunicación se estudia la acción metabólica de microorganismos edáficos sobre filosilicatos de la fracción arcilla extraída de suelos calizos típicos del Sureste español.

Al mismo tiempo se investiga la identificación de los metabolitos producidos, ante la evidencia que se posee «in vitro» de la autointoxicación que sufren aquellos como consecuencia de los productos de excreción

Departamento de Biología.

Centro de Edafología y Biología Aplicada del Seguro. Murcia.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) HARRIS, C. I., KAUFMAN, D. D., SHEETS, T. J., NASH, R. B. y KARNYS, P. C. (1968). Adv. in Pest. Control Res., 8, 1.
- (2) JACKSON, M. L. (1956). Soil chemical analysis. Advances course. Department of soils. Univ. of Wis. Madison, 6 Wisconsin.
- (3) KUNZE, G. N. (1965). Pretreatment of mineralogical Analysis. Methods of soil Analysis. Part. 1, 573-574. American Society of Agronomy, Inc. Madison, Wisconsin, USA.
- (4) MARTÍN VIVALDI y RODRÍGUEZ GALLEGU. (1961). Some problems in the identification of clay minerals in mixtures by X-ray diffraction. I. Chlorite-Kaolinite mixtures. Clay Min. Bull., 4, 288-292.
- (5) MEHRA, O. P. y JACKSON, M. L. (1960). Iron oxide renovol from soils and days by dithinate citrate system buffered with sodium bicarbonate. Clays and clay mineral. 7th Conf. Pergamon Press., London, 317-327.
- (6) NEARPASS, D. C. (1965). Weeds, 13, 341.
- (7) NEARPASS, D. C. (1969). Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 33, 524.
- (8) ORTUÑO, A., ALBALADEJO, J. y HERNANSÁEZ, A. (1977). Contribución al estudio de herbicidas clorotriazínicos sobre microorganismos solubilizadores de fósforo en suelos calizos. Anuario homenaje al Prof. Dr. Lucena, Salamanca, 39-51.
- (9) ORTUÑO, A., HERNANSÁEZ, A. y ALBALADEJO, J. (1977). Acciones de los herbicidas clorotriazínicos sobre microorganismos solubilizadores de fósforo en suelos cítricos del Sureste de España. Proc. Int. Soc. Citriculture.
- (10) ORTUÑO, A., HERNANSÁEZ, A. y NOGUERA, J. (1978). Influencia de la simazina sobre microorganismos solubilizadores de fósforo en suelos calizos. Anal. Edaf. y Agrob. (En prensa.)
- (11) OSTROM, M. E. (1961). Separation of clay minerals form carbonate rocks by using acids. Jour. Sed. Petro., 31, 123-129.
- (12) RUSSELL, J. D., CRUZ, M. I. y WHITE, J. L. (1968). J. Agro. Food. Chem., 16, 21
- (13) SKIPPER, H. D. (1970). Hydrolisis and Biological Degradation of Atrazina in Soils. Ph. D. Thesis, Oregon State Univ., Corvallis Oregon.
- (14) WEED, S. B. y WEBER, J. B. (1969). Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 33, 379.

Recibido para publicación: 12-XI 78

FERTILIDAD DE SUELOS

LA UTILIZACION DE INDICES DE PRODUCTIVIDAD PARA PRONOSTICAR LA APTITUD RELATIVA DE LOS SUELOS

por

D. DE LA ROSA y J. L. MUDARRA

SUMMARY

THE USE OF PRODUCTIVITY INDEXES TO PREDICT RELATIVE SOIL SUITABILITY

A soil evaluation system which predicts relative soil suitability for olive crop was analysed. The system was applied to soils from a Guadalquivir terraces zone, Sevilla (Spain). Results obtained by this system were related through linear regression and correlation analysis to yields estimated by local farmers. Selected soils were grouped in calcic and hydromorphic soils, and within each group the estimated yields were considered under three management levels. Productivity indexes calculated by the soil evaluation system were significantly correlated to estimated yields. For high management level, the best correlations and lowest variation degree were obtained. Based on correlation and regression coefficients, coefficient of variation, and applicability to the number of soils, it is concluded that the soil evaluation system could be used to predict relative soil suitability for olive crop.

INTRODUCCIÓN

El objetivo principal de la evaluación de suelos es proporcionar un instrumento básico para la ordenación del territorio; entendiéndose por ordenación del territorio, según Barneveld (1973), el análisis y diagnóstico de los atributos ecológicos y socio-económicos, en orden a establecer un desarrollo integral proporcional a las posibilidades ecológicas y a las necesidades socio-económicas del momento. Aunque en este proceso de análisis y diagnóstico se considera un amplio conjunto de aspectos naturales, sociales y económicos, el suelo ocupa un lugar esencial al ser el atributo principal y permanente de la tierra y del uso de la misma.

En los últimos cincuenta años se han desarrollado diferentes sistemas de evaluación, en base a los reconocimientos edáficos, que pronostican una aptitud general de los suelos para usos agrícolas (Storie, 1937 y 1955; USDA, 1961; Bramao and Riquier, 1964). Sin embargo, para la planificación agrícola del suelo es muy importante contar con varias alternativas. De ahí el interés de que las evaluaciones de suelos consideren diversas soluciones, que comprendan un amplio rango de posibili-

dades de uso y desarrollo. Dentro de este contexto, van tomando auge los sistemas de evaluación que pronostican la aptitud relativa de los suelos para diferentes usos agrícolas; permitiendo una elección adecuada entre varias alternativas de uso (Ambar, 1964; Sys and Vertheys, 1972; De la Rosa et al., 1977).

Para usos no agrícolas, la utilización de reconocimientos de suelos está continuamente incrementando; habiéndose desarrollado diferentes sistemas de evaluación que estiman la aptitud relativa de los suelos para los más diversos usos de ingeniería (Montgomery and Edminster, 1966; AASHO, 1970; USDA, 1971). Las evaluaciones de suelos para bosques y vida silvestre, tales como los sistemas establecidos por el USDA (1967) y Perret (1969), completan el conjunto de clasificaciones interpretativas en base a los principales usos del suelo (De la Rosa and Carlisle, 1979).

Con relación a la metodología de la evaluación, se pueden diferenciar sistemas cuantitativos que establecen índices de productividad, haciendo uso de ciertos parámetros edáficos. Por medio de estos sistemas se llevan a cabo clasificaciones interpretativas, siguiendo procedimientos aritméticos con seleccionadas características del suelo. Para cada característica se establece un rango de valores, que multiplicados o sumados entre sí proporcionan el índice de productividad del suelo evaluado. Estas evaluaciones paramétricas eliminan en parte el elemento subjetivo de los sistemas cualitativos. Sin embargo, la utilización de expresiones aritméticas tan elementales, despreciando las posibles interacciones entre las características edáficas seleccionadas, simplifican excesivamente los modelos desvirtuando la realidad de los hechos. La técnica de simulación matemática, mediante resolución numérica de complejas ecuaciones algebraicas, elimina este inconveniente y proporciona una gran precisión; lo que está motivando en la actualidad un extraordinario desarrollo de los sistemas paramétricos de evaluación de suelos.

En el presente trabajo, se discuten los resultados de la aplicación de un sistema paramétrico de evaluación, desarrollado por De la Rosa (1974), en los suelos de una zona de la provincia de Sevilla (España). El sistema pronostica la aptitud relativa de los suelos para el cultivo del olivo. Se da especial importancia al análisis estadístico de regresión lineal y correlación entre los índices de productividad calculados por el sistema y los rendimientos estimados por los agricultores de la zona como datos de referencia.

MATERIAL Y MÉTODOS

Toda la información básica utilizada en este trabajo procede de un estudio de reconocimiento y evaluación (E. 1/75.000) sobre suelos de una zona de terrazas del Guadalquivir, en la provincia de Sevilla, España (De la Rosa, 1974). Dicha zona, de 69.000 Ha., se extiende en la margen izquierda del río Guadalquivir, entre los afluentes Corbones y Guadaira y la sierra de los Alcores.

El sistema de evaluación desarrollado en el mencionado estudio para el cálculo de los índices de productividad de los suelos, se refiere exclusivamente al cultivo del olivo. Las características edáficas que selecciona el sistema como criterios de diagnóstico son: profundidad útil, tex-

tura, capacidad de retención de agua, drenaje y capacidad de cambio catiónico. La multiplicación de los valores asignados a los niveles de generalización establecidos para cada criterio, permite la obtención del índice global de productividad del suelo evaluado.

Los rendimientos de referencia fueron estimaciones de los agricultores de la zona, a través de encuestas agropecuarias realizadas durante el reconocimiento de suelos y referidas a este período de tiempo. Corresponden a producciones medias obtenidas en plantaciones de olivar, variedad zorzaleña, para los niveles de manejo: bajo, medio y elevado, definidos en el Soil Survey Manual (Soil Survey Staff, 1962).

Los índices de productividad, considerados como variable dependiente, se sometieron a un análisis estadístico de regresión lineal y correlación contra los rendimientos estimados como variable independiente (Steel and Torrie, 1960). Se computaron los siguientes parámetros estadísticos: ordenada en el origen de la recta de regresión (a), coeficiente de regresión o pendiente de la recta (b), coeficiente de variación referido al coeficiente de regresión (C. V.), coeficiente de determinación (r^2) y coeficiente de correlación (r). Para este análisis, los suelos se agruparon en calizos e hidromorfos, y dentro de cada grupo se diferenciaron los rendimientos estimados de acuerdo con los niveles de manejo considerados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se seleccionaron 20 Series de suelos, cuya clasificación taxonómica en base a la Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 1975) se presenta en la tabla I. La tabla II muestra los rendimientos estimados para cada nivel de manejo y los índices de productividad, de los suelos calizos e hidromorfos. Para todos los niveles de manejo, los suelos calizos proporcionaron unos rendimientos más altos que los suelos hidromorfos. Esta diferencia fue mayor conforme el nivel de manejo era más elevado. Los índices de productividad también fueron más altos para los suelos calizos que para los suelos hidromorfos. Series de suelos clasificadas en el mismo Subgrupo (ej. La Rata y Pedro Agustín) ofrecieron unos valores de rendimientos muy diferentes, y por el contrario Series clasificadas en Subgrupos diferentes (ej. Dña. María y Rosal Alto) presentaron rendimientos similares. El mismo hecho se apreció en los índices de productividad, poniéndose de manifiesto la diferencia entre clasificaciones naturales o taxonómicas y clasificaciones interpretativas o de evaluación de suelos.

En la tabla III se presentan los resultados del análisis de regresión y correlación simple entre los índices de productividad y los rendimientos estimados, para cada nivel de manejo y grupo de suelos. Para un nivel bajo de manejo, el análisis estadístico mostró que los índices de productividad calculados por el sistema de evaluación estaban significativamente correlacionados con los rendimientos estimados. Entre los grupos individuales de suelos existe una diferencia apreciable; presentando los suelos calizos el más bajo coeficiente de correlación ($r = 0,58$), no significativo al nivel 5 por 100, de todos los suelos analizados. Los coeficientes de variación, tanto para todos los suelos como para los grupos individuales, fueron muy altos. En estos casos la medida de significancia

T A B L A I

Clasificación taxonómica de los suelos seleccionados

Serie	Subgrupo	Orden
<i>Suelos calizos</i>		
Dña. María	Xerollic Calciorthids	Aridisols
Aparecida	Calcixerollic Xerochrepts	Inceptisols
Palomar	Calcixerollic Xerochrepts	Inceptisols
San Antón	Calcic Rhodoxeralfs	Alfisols
Polvorín	Calcic Rhodoxeralfs	Alfisols
Castellón	Calcic Rhodoxeralfs	Alfisols
Atalayas	Calcic Rhodoxeralfs	Alfisols
Platera	Calcic Rhodoxeralfs	Alfisols
Vera Abajo	Calcic Rhodoxeralfs	Alfisols
Gordillo	Calcic Rhodoxeralfs	Alfisols
Rosal Alto	Calcic Rhodoxeralfs	Alfisols
<i>Suelos hidromorfos</i>		
El Viso	Aquic Haploxeralfs	Alfisols
Cerro Plata	Aquic Xerochrepts	Inceptisols
El Cruce	Aquic Haploxeralfs	Alfisols
Pastora	Aquic Haploxeralfs	Alfisols
Laguna	Aquic Haploxeralfs	Alfisols
Villegas	Aquic Haploxeralfs	Alfisols
La Rata	Aquic Haploxeralfs	Alfisols
Pedro Agustín	Aquic Haploxeralfs	Alfisols
Concepción	Aquic Haploxeralfs	Alfisols

T A B L A II

Rango y media de las variables analizadas con relación al cultivo del olivo

V a r i a b l e	N	R a n g o	Media
<i>Suelos calizos</i>			
Rendimiento estimado para un nivel bajo de manejo (Kg/árbol/año).....	4	6,5 — 8,0	7,28
Rendimiento estimado para un nivel medio de manejo (Kg/árbol/año).....	11	10,0 — 21,3	16,08
Rendimiento estimado para un nivel elevado de manejo (Kg/árbol/año).....	9	25,1 — 40,1	33,01
Índice de productividad (‰)	11	9,6 — 95,0	50,48
<i>Suelos hidromorfos</i>			
Rendimiento estimado para un nivel bajo de manejo (Kg/árbol/año).....	8	3,1 — 6,0	4,34
Rendimiento estimado para un nivel medio de manejo (Kg/árbol/año).....	8	7,2 — 12,0	9,84
Rendimiento estimado para un nivel elevado de manejo (Kg/árbol/año).....	5	10,2 — 21,2	15,36
Índice de productividad (‰)	9	1,0 — 20,0	5,59

de la correlación tiene una validez limitada, debido a la elevada dispersión de los puntos experimentales (fig. 1). Así, aunque el coeficiente de regresión y la ordenada en el origen de la recta de regresión pueden proporcionar un factor de corrección para el cálculo de los rendimientos de los suelos, tales desviaciones de los puntos experimentales de la recta de regresión introducirán un considerable error.

TABLA III

Regresión lineal y correlación entre índices de productividad y rendimientos estimados para el cultivo del olivo

Suelo	a	b	C. V. (%)	r ²	r
<i>Nivel bajo de manejo</i>					
Suelos calizos.....	— 126,40	23,80	> 100	0,34	0,58
Suelos hidromorfos	— 20,32	5,67	43,78	0,59	0,77 *
Todos los suelos	— 51,64	13,18	42,69	0,74	0,86 **
<i>Nivel medio de manejo</i>					
Suelos calizos.....	— 33,91	5,25	11,33	0,50	0,70 *
Suelos hidromorfos	— 26,81	3,35	12,20	0,56	0,75 *
Todos los suelos	— 49,79	6,08	6,87	0,73	0,86 **
<i>Nivel elevado de manejo</i>					
Suelos calizos.....	— 103,98	4,82	5,12	0,54	0,73 *
Suelos hidromorfos	— 14,90	1,56	2,73	0,82	0,90 *
Todos los suelos	— 35,99	2,80	2,11	0,72	0,85 **

*, ** Nivel de significación del 5 y 1 por 100, respectivamente.

Para un nivel medio de manejo, los índices de productividad calculados por el sistema de evaluación fueron significativamente correlacionados con los rendimientos de referencia (tabla III). Los suelos calizos presentan el coeficiente de correlación más bajo ($r = 0,70$). Contrariamente a los casos analizados para un nivel bajo de manejo, los puntos experimentales de la fig. 2 muestran una menor dispersión, tanto para los suelos calizos como para los hidromorfos. Para el conjunto de todos los suelos se observa esta misma tendencia aún más acusada; lo que se pone de manifiesto por un bajo coeficiente de variación (6,87 por 100), indicando que la probabilidad de error al usar el sistema de evaluación para pronosticar la aptitud relativa de los suelos para el cultivo del olivo sería relativamente baja.

Para un nivel elevado de manejo, los índices de productividad fueron

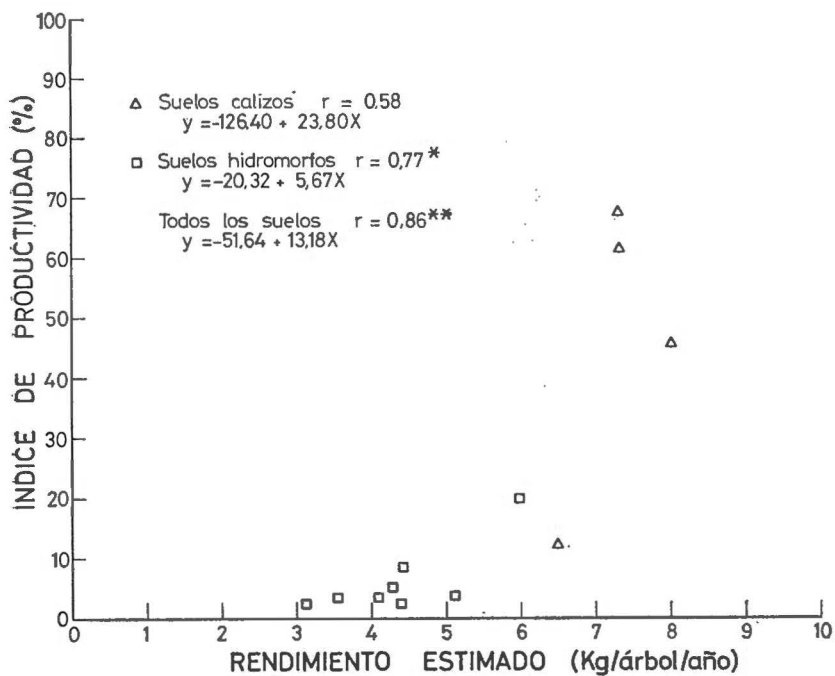


Fig. 1.—Correlación entre índices de productividad y rendimientos estimados para un nivel bajo de manejo. Datos referentes al cultivo del olivo.

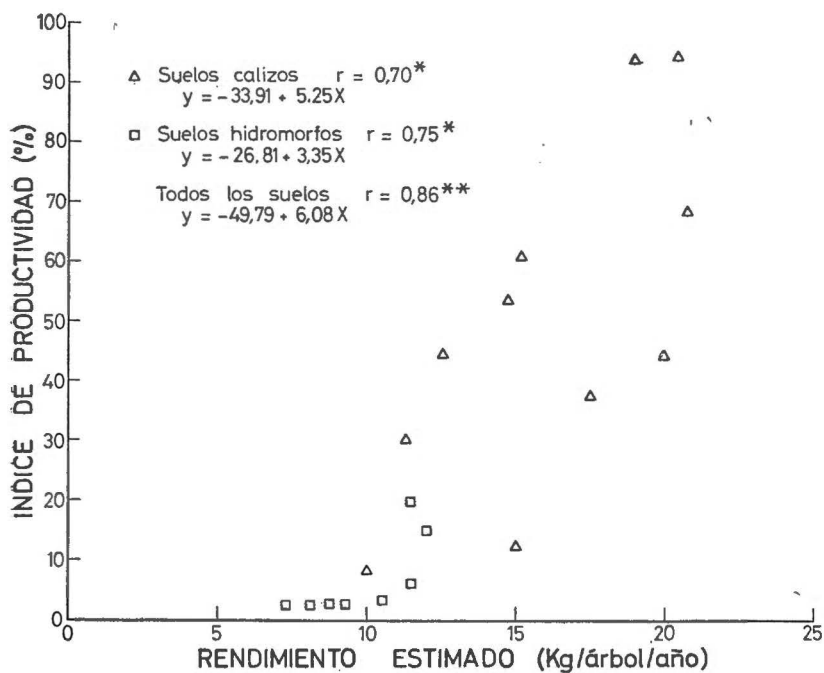


Fig. 2.—Correlación entre índices de productividad y rendimientos estimados para un nivel medio de manejo. Datos referentes al cultivo del olivo.

altamente correlacionados con los rendimientos estimados por los agricultores de la zona de estudio (tabla III). Los suelos hidromorfos presentaron el coeficiente de correlación más alto ($r = 0,90$), significativo al nivel 1 por 100, de todos los suelos analizados. El conjunto de todos los suelos así como los grupos individuales mostraron unos coeficientes de variación muy bajos. La proximidad de los puntos experimentales a las rectas de regresión (fig. 3) indica la baja probabilidad de error al aplicar el sistema de evaluación para pronosticar la capacidad productiva de los suelos analizados bajo un nivel elevado de manejo.

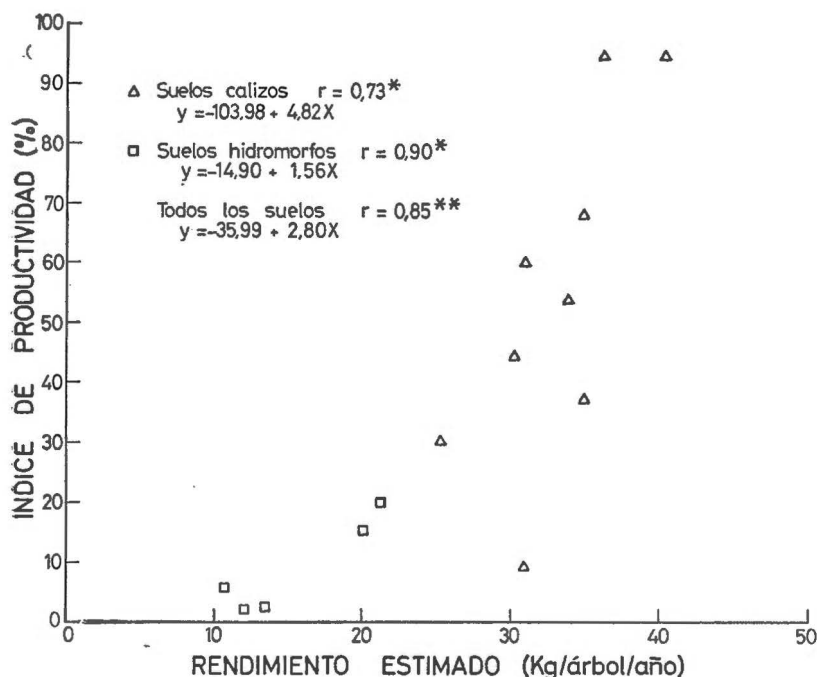


Fig. 3.—Correlación entre índices de productividad y rendimientos estimados para un nivel elevado de manejo. Datos referentes al cultivo del olivo.

De acuerdo con los resultados de este análisis estadístico, se puede concluir que los índices de productividad fueron significativamente correlacionados con los rendimientos estimados. En los suelos hidromorfos se obtuvieron mejores correlaciones que en los suelos calizos, cualquiera que fuese el nivel de manejo considerado. Los elevados coeficientes de variación restan validez al sistema de evaluación para pronosticar la aptitud relativa de los suelos, para un nivel bajo de manejo. Sin embargo, para un nivel elevado de manejo se obtuvieron las más altas correlaciones y más bajos grados de variabilidad. Por tanto, el sistema de evaluación ofrece una medida válida de la aptitud relativa de los suelos para el cultivo del olivo, considerando un nivel elevado de manejo.

RESUMEN

Se analizó un sistema paramétrico de evaluación que pronostica la aptitud relativa de los suelos para el cultivo del olivo. El sistema se aplicó a los suelos de una zona de terrazas del Guadalquivir, en la provincia de Sevilla (España). Los resultados obtenidos se sometieron a un análisis estadístico de regresión lineal y correlación contra los rendimientos estimados por los agricultores de la zona. Los suelos seleccionados se agruparon en calizos e hidromorfos, y dentro de cada grupo se diferenciaron los rendimientos estimados bajo tres niveles diferentes de manejo. Los índices de productividad calculados por el sistema de evaluación se mostraron significativamente correlacionados con los rendimientos estimados. Para un nivel elevado de manejo, se obtuvieron las mejores correlaciones y más bajos grados de variabilidad. En base a los coeficientes de correlación, regresión y variación, y de acuerdo con el número de suelos seleccionados, se concluye que el sistema de evaluación puede ser utilizado, con resultados satisfactorios, para pronosticar la aptitud relativa de los suelos para el cultivo del olivo.

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

BIBLIOGRAFÍA

- (1) AMBAR, E. C. (1964). Alguns aspectos quantitativos de interpretações das cartas de solos. Índices de produtividade e de capacidade de uso do solo. Pub. da Univ. Tecn. de Lisboa, Lisboa (Portugal).
- (2) AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY OFFICIALS (1970). Standard specifications of highway materials and methods of sampling and testing. AASHO Ed. 8, 2v.
- (3) BARNEVELD, G. W. (1973). Evaluación de las tierras. Propuesta de una metodología estandarizada para múltiples fines rurales. Proy. FAO-INTA. ARG 68/526, Entre Ríos (Argentina).
- (4) BRAMAQ, L. and RIQUEIR, J. (1964). Soil resources appraisal for development. Anal. Edaf. y Agrob., 26, 865-869.
- (5) DE LA ROSA, D. (1974). Reconocimiento y evaluación de suelos de terrazas del Guadalquivir en la provincia de Sevilla. Tesis doctoral Univ. de Madrid, Madrid (España).
- (6) DE LA ROSA, D., CARDONA, F. y PANEQUE, G. (1977). Evaluación de suelos para diferentes usos agrícolas. Un sistema desarrollado para regiones mediterráneas. Anal. Edaf. y Agrob., 36, 1100-1112.
- (7) DE LA ROSA, D. and CARLISLE, V. W. (1979). An approach to the classification of agricultural and non-agricultural evaluation systems. An. Edaf. y Agrob. (Aceptado.)
- (8) MONTGOMERY, PH. and EDMINSTER, F. C. (1966). Use of soil surveys in planning for recreation. Soil Survey and Land-Use Planning 104-112. Am. Soc. of Agron., Madison, Wi. (U. S. A.).
- (9) PERRET, N. G. (1969). Land capability classification for wildlife. The Canadian Land Inventory Rep. No. 7 Dept. Reg. Eco. Exp., Ottawa (Canada).
- (10) SOIL SURVEY STAFF (1962). Soil survey manual. Soil Conservation Service, USDA. Handbook No. 18. U. S. Govt. Printing Office, Washington, D. C. (U.S.A.).
- (11) SOIL SURVEY STAFF (1975). Soil taxonomy: A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. Soil Conservation Service, USDA. Handbook No. 436 U. S. Govt. Printing Office, Washington, D. C. (U.S.A.).
- (12) STEEL, R. G. and TORRIE, J. H. (1960). Principles and procedures of statistics. McGraw-Hill Book Co. In., New York, N. Y. (U.S.A.).
- (13) STORIE, E. R. (1937). An index for rating the agricultural value of soils. Bull. 556, Berkeley, Ca. (U.S.A.).
- (14) STORIE, E. R. (1955). Revision of the soil rating chart. Agr. Exp. Sta. Pub., Berkeley, Ca. (U.S.A.).
- (15) SYS, C. and VERHEYE, W. (1972). Principles of land classification in arid and semi-arid regions. Int. Train. Cen. for Post-grad. Soil Sci., Ghent (Belgium).

- (16) U. S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE (1961). Land capability classification. Handbook No. 210. Soil Conservation Service, Washington, D. C. (U.S.A.).
- (17) U. S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE (1967). Developing soil woodland interpretations. Memorandum 26, Revision 2. Soil Conservation Service, Washington, D. C. (U.S.A.).
- (18) U. S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE (1971). Guide for interpreting engineering uses of soils. Soil Conservation Service, Washington, D. C. (U.S.A.).

Recibido para publicación: 19-VI-78.

MICROBIOLOGIA DE UN SUELO CULTIVADO CON LA SECUENCIA TRIGO-BARBECHO-TRIGO

por

M. A. SAGARDOY

SUMMARY

MICROBIOLOGY OF A SOIL CULTIVATED ON ROTATION WHEAT-FALLOW-WHEAT

A two year microbiological study of a sandy loam soil from the semiarid zone of Argentina was carried out, the crop rotation during that time being wheat-fallow-wheat.

Little variation in the numbers of proteolytic organisms was observed, while the ammonium producing organisms were predominant during the spring-summer months.

During the fallow period and after the incorporation of 1100 kg/ha of wheat straw, an increase in the density of proteolytics, cellulolytics bacteria and *Clostridium* took place. Furthermore, a gradual and continuous increase in the numbers of fungi and bacteria were observed. The density of *Azotobacter* did not increase significantly until one year after the straw was incorporated in the soil.

The number of ammonium oxidizers exceeded the number of nitrite oxidizers. Both groups attained maximum numbers in the less warm periods of the year. No correlation was found between the number of nitrifiers bacteria and the levels of nitrate in the soil. The activity of the denitrifying microflora was found to be poor in the cultivated as well as in the fallow periods.

The existence of a good number of *Azotobacter*, aerobic cellulose decomposers and ammonifiers in conditions of low soil humidity (pF = 5,1-5,5) demonstrated the high resistance of these groups to soil desiccation under field conditions.

INTRODUCCIÓN

En los estudios sobre biología del suelo es reconocida la importancia que tienen los microorganismos en la degradación de la materia orgánica agregada a un suelo (9, 18, 29, 30).

Recientemente se realizaron estudios sobre las alteraciones que sufre la paja de trigo (*Triticum aestivum* L.) cuando es incorporada a un suelo (26, 27) y de los diferentes efectos que ese sustrato carbonado ocasiona en los mismos (1, 3, 10, 11, 20). Sin embargo, y a pesar de los estudios biológicos realizados (6, 14, 28), es escasa la información sobre las variaciones que ocurren en la microflora cuando se incorpora a un suelo, en condiciones de campo, una cantidad perfectamente conocida del resto de un cultivo.

La necesidad de conocer los resultados que producen los distintos manejos sobre la capacidad potencial de la microflora de la región

semiárida sur de Argentina y la importancia económica del cultivo de trigo para la región, llevó al autor a estudiar mensualmente, durante dos años, las variaciones de la microflora de un suelo cultivado con la sucesión trigo-barbecho-trigo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la zona de Médanos (provincia de Buenos Aires), en una parcela que tenía una superficie de 900 m² y que estuvo cultivada con ajo (*Allium sativum* L.) durante el período abril-diciembre de 1973, manteniéndose la misma después de la cosecha del ajo bajo barbecho limpio.

El trigo se sembró en hileras separadas a 20 cm el 12-VII-74. La cosecha del cereal se realizó el 18-XII-74, obteniéndose un rendimiento, normal para la zona, de 800 kg/ha. Con el objeto de realizar un barbecho semicubierto y con la ayuda de un arado rastra, el 27-I-75, fueron incorporados superficialmente al suelo 1.100 kg/ha de paja de trigo. La parcela se mantuvo sin laboreo hasta el 7-VI-75, fecha en que se comenzó la labranza de presiembra utilizando una rastra de disco simple. El 25-VI-75, la parcela se sembró con trigo obteniéndose en la cosecha realizada el 19-XII-75 un rendimiento de 500 kg/ha. El rastreo no fue enterrado y el suelo se mantuvo como campo natural hasta el 28-VIII-76, fecha en que se dio por terminado el estudio.

La ubicación geográfica y algunas propiedades físicas y químicas del suelo pueden observarse en la tabla I. Los datos sobre temperaturas medias y de lluvia caída se presentan en las tablas II y III.

TABLE I

Algunas propiedades físicas y químicas del suelo sembrado con la secuencia trigo-barbecho-trigo en Médanos (provincia de Buenos Aires), Argentina

Arcilla %	Limo %	C. O. %	M. O. %	N %	C/N	P ppm	pH	C. E. (1)	C/C (2)	Cationes interc. (2)				Ubicación
										Ca	Mg	K	Na	
10,7	17,5	0,92	1,58	0,08	11,5	13,4	7,8	1,3	13,6	10,2	0,2	1,6	0,9	62 41' (O) 38 50' (O) 30 m

(1) mmhos/cm.

(2) me/100 g. de suelo seco.

Las muestras de suelo se tomaron entre 0-20 cm de profundidad cada treinta días aproximadamente y cada una de ellas estaba compuesta de cinco submuestras de 1.000 cm³ de suelo. El muestreo en suelo cultivado se realizó entre las hileras de trigo y a unos 7-8 cm de dis-

TABLA II

Temperaturas medias de la zona de Médanos (prov. de Buenos Aires), Argentina (1)

ANUAL			ENERO			JULIO		
Máx.	Media	Mín.	Máx.	Media	Mín.	Máx.	Media	Mín.
21,8	14,7	8,3	30,9	23,2	15,1	13,2	7,4	2,1

(1) Temperaturas en °C. Datos obtenidos de «Estudio Técnico, Económico y Social del Valle Bonaerense del Río Colorado», Tomo I, Edison Consult, S. A., 1967

TABLA III

Promedios mensuales de lluvias durante el período 1958-73 y en los años 1974-76 de la zona de Médanos (prov. de Buenos Aires), Argentina (1)

Años/meses	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1958 - 73	39,0	51,0	84,3	41,1	30,3	49,1	29,8	21,6	57,6	39,4	54,1	57,9
1974	48,0	28,0	63,0	18,0	27,0	21,0	20,0	0	1,0	44,0	19,0	74,0
1975	36,0	92,0	111	70,0	42,0	44,0	5,0	0	31,0	26,0	9,0	0
1976	27,0	151	53,0	100	0	19,0	0	61	47,0	134	161	42,0

(1) Datos en milímetros, facilitados por el Ferrocarril General Roca de Bahía Blanca, Argentina.

fancia de las plantas, con el objeto de evitar en lo posible el efecto rizosférico. Las submuestras se colocaron en una bolsa de polietileno de 60 micras sin usar, se ataron fuertemente con hilo y se transportaron al laboratorio donde, antes de ser procesadas, eran mezcladas entre sí y pasadas por un tamiz estéril de 2 mm.

El análisis microbiológico se hizo dentro de las veinticuatro horas de realizado cada muestreo, utilizando diluciones decimales de suelo y las técnicas de Pochon y Tardieux (21). Cada muestra se estudió por triplicado, utilizando 3 tubos por dilución para la determinación de los grupos fisiológicos-algas y cinco placas/dilución para conocer la densidad de la microflora total y fúngica. Los resultados se expresaron en número de microorganismos por gramo de suelo seco.

Las determinaciones fisicoquímicas del suelo, se realizaron según los métodos descritos en un trabajo anterior (22).

2. Nitrificadores

Los *nitrificadores* fueron siempre superiores en número a los *nitratores* (fig. 2). Al igual que lo observado en suelos de la región húmeda de Argentina (13), el número máximo de organismos nitrificantes se registró durante los meses menos cálidos del año, no presentando la dinámica de los nitratos del suelo y el número de organismos una total correlación, ignorándose las causas principales de estos resultados.

La dinámica de los nitratos presentó dos picos máximos luego de incorporar la paja de trigo, el primero a los seis meses y el segundo al año de incorporada la misma. La importancia del nitrato acumulado en el rendimiento de grano de trigo de suelos barbechados fue estudiado (32); el valor de 26 ppm de nitrógeno, en forma de nitratos, al mes de iniciado el segundo año de cultivo de trigo, indica que en este tipo de suelo el agregado de 1.100 kg/ha de paja de trigo, al comienzo del barbecho, probablemente no provoca una deficiencia de nitrógeno por inmovilización microbiana para el cultivo siguiente (14, 25).

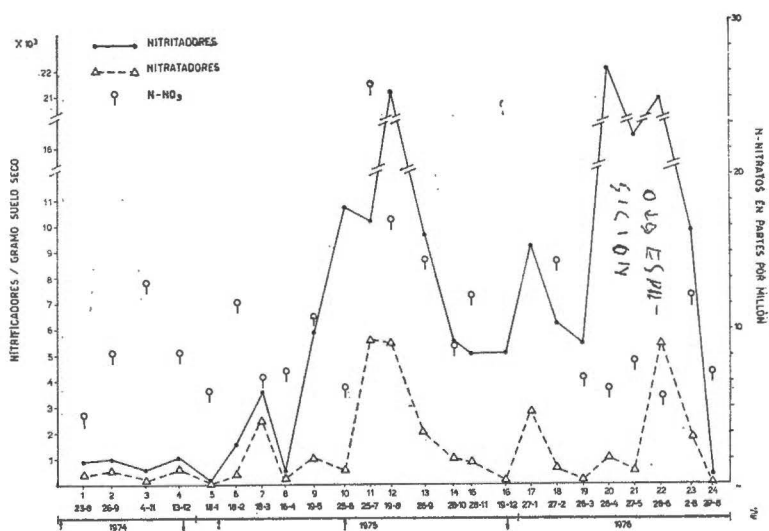


Fig. 2.—Densidad de nitrificadores y valores de nitratos en suelo cultivado con trigo-barbecho-trigo.

3. Desnitrificadores

El ingreso de un mayor número de electrones proveniente de los 1.100 kg/ha de paja de trigo, no produjo un incremento manifiesto y sostenido en el número y actividad de la microflora desnitrificante (figura 3).

En condiciones de campo y en este tipo de suelo, es posible que factores como la textura y los bajos valores de nitratos superen en importancia la influencia que ejercen sobre la capacidad desnitrificante,

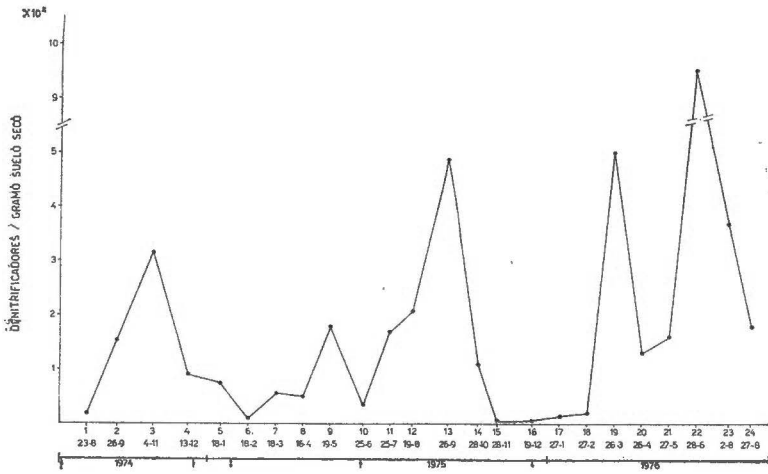


Fig. 3.—Densidad de desnitrificadores en suelo cultivado con trigo-barbecho-trigo.

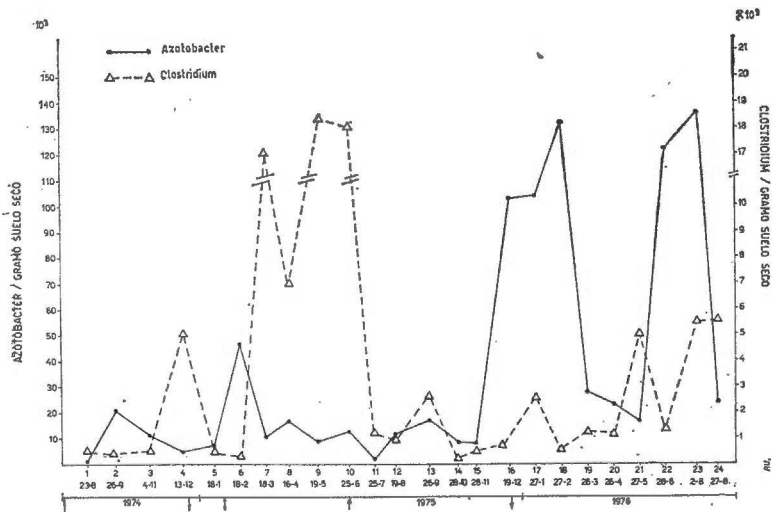


Fig. 4.—Densidad de fijadores no simbióticos en suelo cultivado con trigo-barbecho-trigo.

otros agentes como la temperatura y la presencia de restos orgánicos (2, 24).

4. Fijadores de nitrógeno no simbióticos

El número de los fijadores aerobios fue superior al de los fijadores anaerobios (fig. 4). Después de incorporar la paja se observó a los

veinte días un pico de máxima para *Azotobacter*, no presentando este grupo grandes oscilaciones en su número hasta el verano 1975-76.

Durante el otoño siguiente a la incorporación de la paja se produjo un incremento notorio en el número de *Clostridium*. La humedad del suelo, la energía aportada por la paja y los bajos valores de nitratos pudieron ser los factores responsables de que los centros anaeróbicos que se encontraban en los agregados del suelo se transformaran en centros de fijación, produciendo finalmente un aumento en la densidad de *Clostridium* (19).

En este suelo de pH ligeramente alcalino y bien provisto de fósforo, el alto número de *Azotobacter* que se determinó durante períodos de exhaustiva y prolongada sequedad (pH = 5,1-5,5) demostró la gran resistencia a la desecación, bajo condiciones de campo, de las cepas de este género que colonizan este regosol.

5. Celulolíticos aerobios

En 1975, durante el barbecho semicubierto, se produjo un aumento en la densidad de este grupo (fig. 5). En ese año y con suelo cultivado se produjeron pronunciadas oscilaciones en los valores de densidad mi-

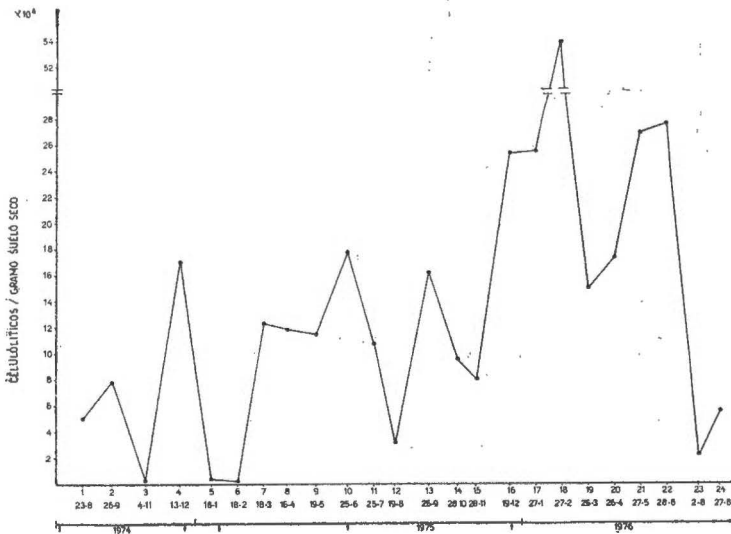


Fig. 5.—Densidad de celulolíticos aerobios en suelo cultivado con trigo-barbecho-trigo.

crobiana, observándose el número máximo de organismos a los 11-13 meses de incorporada la paja al suelo. Estos resultados indican que en ese período del año las condiciones edáficas y climáticas fueron favorables para el grupo, entre ellas debemos citar a la temperatura (16) y al contenido de nitratos que presentó el suelo (12).

La similitud de la dinámica de este grupo con la de *Azotobacter* a partir de diciembre de 1975, plantea la posibilidad de continuar con este tipo de estudios para comprobar si este regosol, con algunos manejos específicos y durante ciertas épocas del año, presenta una asociación celulolíticos-*Azotobacter* con algunas de las características demostradas oportunamente (15).

6. Amilolíticos

Los meses cálidos y secos del verano no favorecieron, tanto en suelo barbechado como en campo natural, el incremento de los organismos de este grupo (fig. 6).

Los flujos máximos de densidad bacteriana se observaron durante 1975-76 y principalmente en los meses menos cálidos de esos años, ignorándose qué factores determinaron esas variaciones.

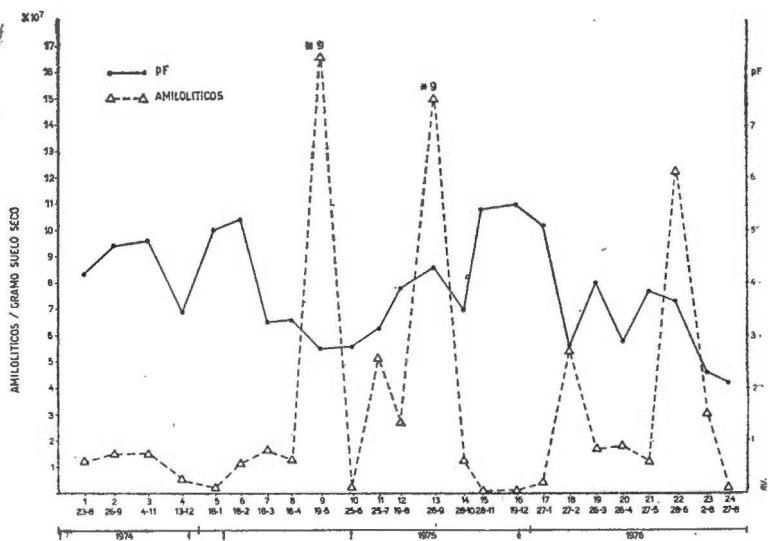


Fig. 6.—Densidad de amilolíticos y valores de pF en suelo cultivado con trigo-barbecho-trigo.

7. Bacterias y hongos

Después de la incorporación superficial de la paja de trigo se observó un incremento en el número de bacterias y hongos (fig. 7). La elevación de la densidad fue más pronunciada para las células eucariotas que para las procariotas, lo que provocó un descenso del cociente bacterias/hongos (33), que disminuyó en 90 días de 310 (18-II-75) a 135 (19-V-75). Esta variación indica la capacidad de los hongos y bacterias de este regosol para reaccionar, en condiciones de campo, ante el agregado de paja de trigo y la posibilidad de que ambos grupos de microorga-

nismos actúan, en esta primera etapa del barbecho, como agentes consumidores y mineralizantes del material carbonado agregado al suelo (29, 31).

En 1975, en el momento de sembrar el trigo, se produjo un marcado descenso de la microflora fúngica y un aumento del cociente bacterias/hongos, ignorándose qué factores bióticos o abióticos produjeron esa disminución en la microflora eucariótica.

En el segundo semestre de ese mismo año, aumentó el pF del suelo y también disminuyó en forma gradual y continuada la densidad de bacterias y hongos, obteniéndose el valor mínimo de ambos grupos en el momento de cosechar el trigo.

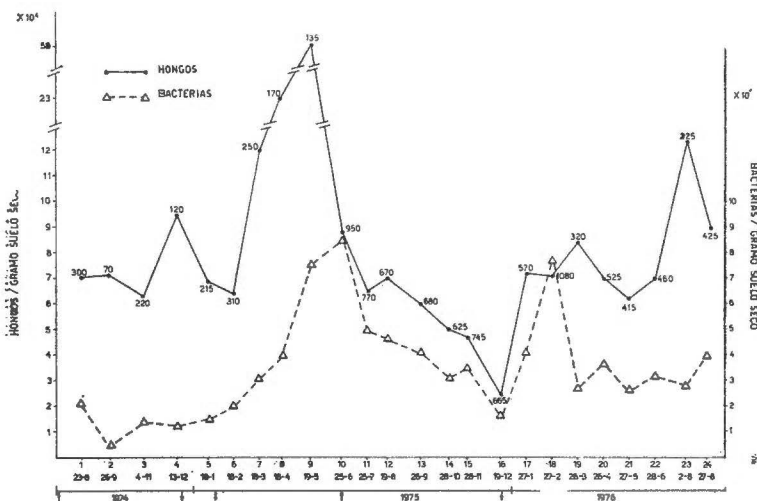


Fig. 7.—Densidad de bacterias y hongos en suelo cultivado con trigo-barbecho-trigo (III).

De acuerdo con estos resultados y coincidiendo con lo determinado por otros autores (4), es posible que la humedad que tiene este suelo, a lo largo del año agrícola, sea uno de los factores más importantes de la actividad y densidad que presentan las bacterias y hongos que colonizan este regosol.

8. Algas

En suelo barbechado se produjo un aumento del número de organismos durante febrero-marzo, pero el valor máximo del año 1975 se obtuvo sobre suelo cultivado (fig. 8). En los picos de máxima observados en ese año predominaron algas del género *Anabaena*, litótrofos que no se observaron durante el período de junio de 1976.

(III) El número observado en cada determinación indica el cociente bacteria/hongos de esa muestra de suelo.

En este suelo, que no recibe ningún tipo de fertilización nitrogenada y donde no se cultivan leguminosas, es posible que la ganancia principal de nitrógeno sea el resultado de la acción conjunta de distintos grupos microbianos (5). La detección de un buen número de fijadores no simbióticos, *Azotobacter* y *Clostridium*, más la determinación de algas que pueden fijar nitrógeno, independientemente del contenido de materia orgánica que tenga el suelo (23), plantea la necesidad de utilizar en el futuro técnicas que permitan cuantificar la fijación anual que realiza la microflora no simbiótica de este regosol (17).

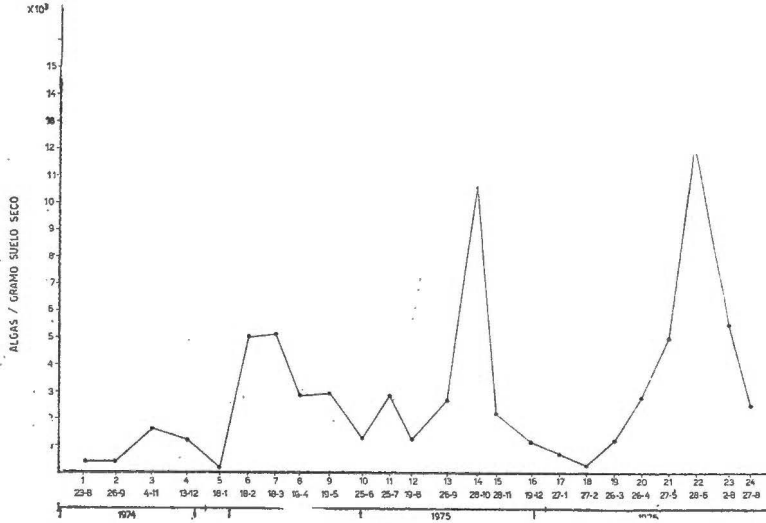


Fig. 8.—Densidad de algas en suelo cultivado con trigo-barbecho-trigo.

CONCLUSIONES

1. Los factores climáticos y edáficos, en suelo tanto cultivado como en barbecho, no actuaron en igual forma sobre la dinámica de buena parte de la microflora estudiada.

2. Durante el barbecho semicubierto y en presencia de buenas condiciones de humedad y temperatura, se incrementó rápidamente el número de proteolíticos, bacterias, hongos, celulolíticos y *Clostridium*. Otros grupos, como nitrificadores, algas y desnitrificadores presentaron su máxima densidad en suelo cultivado y después de 6-9 meses de la incorporación superficial de la paja de trigo.

3. El registro de un buen número de *Azotobacter*, celulolíticos y amonificadores en presencia de altos valores de pF (5,1-5,5), demostró la resistencia a la desecación, en condiciones de campo, de las cepas que componen esos grupos.

4. En este regosol, que no es cultivado con leguminosas y donde no se aplica ningún tipo de fertilización nitrogenada, la presencia de fijadores de nitrógeno hetero y autotróficos, plantea la necesidad de uti-

lizar técnicas adecuadas que permitan cuantificar la magnitud anual de fijación que puede realizar esa microflora.

Agradecimiento

El autor agradece a la Comisión de Investigaciones Científicas (CIC) de la provincia de Buenos Aires, que a través de su Comité para el estudio de la Región Semiárida Bonaerense financió parcialmente este trabajo.

RESUMEN

Un suelo franco arenoso de la zona semiárida sur de Argentina, cultivado con la secuencia trigo-barbecho-trigo, fue estudiado microbiológicamente durante dos años.

La dinámica de los organismos proteolíticos y de los amonificadores fue similar a lo largo de todo el estudio, con un predominio en el número de los productores de amonio durante los meses de primavera-verano.

Durante el barbecho y luego de la incorporación de 1.100 kg/ha de paja de trigo se produjo una elevación en la densidad de proteolíticos, celulolíticos y *Clostridium*, además de un aumento gradual y continuo de los hongos y bacterias del suelo. La densidad de *Azotobacter* no se incrementó significativamente hasta aproximadamente un año después de la incorporación de la paja.

Los organismos formadores de nitrato superaron en número a los formadores de nitrato, presentando ambos grupos sus máximos en los períodos menos cálidos del año y no observándose una correlación entre el número de nitrificadores y los valores de nitratos del suelo.

La capacidad potencial de la microflora desnitrificante, tanto en suelo cultivado como en barbecho, fue pobre.

La determinación de un buen número de *Azotobacter*, celulolíticos y amonificadores en presencia de altos valores de pF (5,1-5,5) demostró la resistencia a la desecación, en condiciones de campo, de las cepas que componen esos grupos.

*Departamento de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Sur,
Bahía Blanca, Argentina.*

BIBLIOGRAFÍA

- (1) ALLISON, F. E. (1966). The fate of nitrogen applied to soils. *Advanc. Agron.*, 18, 219.
- (2) BAILEY, L. D. (1976). Effects of temperature and root on denitrification in a soil. *Can. J. Soil Sci.*, 56, 79.
- (3) BROWN, P. L. and DICKEY, D. D. (1970). Losses of wheat straw residue under simulated field conditions. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 34, 118.
- (4) CAMPBELL, C. A. and BIEDERBECK, V. O. (1976). Soil bacterial changes as affected by growing season weather conditions: a field and laboratory study. *Can. J. Soil Sci.*, 56, 293.
- (5) COOK, F. D. (1967). Some microbiological factors. *Proc. Can. Centen. Wheat Symp.*, 177-192, Canadá.
- (6) DAWSON, R. C., DAWSON, V. T. and McCALLA, T. M. (1948). Distribution of microorganisms in the soil as affected by plowing and subtilling crop residues. *Res. Bull.*, 155, Nebraska Agric. Exp. St., Lincoln, Nebraska.
- (7) DOMMÉRGUES, Y. (1962). Contribution a l'étude de la dynamique microbienne des sols en zone semi-aride et en zone tropicale sèche. *Ann. Agron.*, 13, 391.
- (8) DOMMÉRGUES, Y. et MANGENOT, F. (1970). *Ecologie microbienne du sol*. Masson et Cie. (Eds.), Saint-Germain, París.

- (9) EITMINAVIČIUTĖ, I., BAGDANAVIČIENĖ, Z., KADYTĖ, B., LAZAUŠKIENĖ, L. and SUKACKIENĖ, I. (1976). Characteristic successions of microorganisms and soil invertebrates in the decomposition process of straw and lupine. *Pedobiologia*, 16, 106.
- (10) FERGUSON, W. S. (1967). Effect of repeated applications of straw on grain yields and on some soil properties. *Can. J. Soil Sci.*, 47, 117.
- (11) FERGUSON, W. S. and GORBY, B. J. (1964). Effect of straw on availability of nitrogen to cereal crops. *Can. J. Soil Sci.*, 44, 286.
- (12) GARRETT, S. D. (1976). Influence of nitrogen on cellulolysis rate and saprophytic survival in soil of some cereal foot-rot fungi. *Soil Biol. Biochem.*, 8, 229.
- (13) GIAMBIAGI, N. (1969). Bacterias nitrificadoras, su actividad real y potencial en el curso del año en suelos de Pergamino y Marcos Juárez (Rep. Argentina). *Rev. Ecol. Biol. Sol*, 6, 277.
- (14) GREENLAND, P. J. and NYE, P. H. (1960). Does straw induce nitrogen deficiency in tropical soils? *Trans. 7th Int. Congr. Soil Sci.*, 2, 478, Madison, U. S. A.
- (15) JENSEN, V. and HOLM, E. (1975). Associative growth of nitrogen-fixing bacteria with other micro-organisms. In: *Nitrogen fixation by free-living micro-organisms*, 101-109. W. D. P. Stewart (Ed.), I. B. P. núm. 6, Cambridge University Press, London.
- (16) LABROUE, L. et LASCOMBES, G. (1975). L'activité cellulolytique dans les sols de quelques stations de l'étage alpin du Pic du Midi de Bigorre (Hautes-Pyrénées). *Rev. Ecol. Biol. Sol*, 12, 181.
- (17) LOCKYER, D. R. and COWLING, D. W. (1977). Non-symbiotic nitrogen fixation in some soils of England and Wales. *J. brit. Grassl. Soc.*, 32, 7.
- (18) MCE KEVAN, D. M. (1968). Soil fauna and humus formation. *Trans. 9th Int. Congr. Soil Sci.*, 2, 1, Adelaide, Australia.
- (19) MAGDOFF, F. R. and BOULDIN, D. R. (1970). Nitrogen fixation in submerged soil sand-energy material media and the aerobic-interface. *Plant and Soil*, 33, 49.
- (20) OVESON, M. M. (1966). Conservation of soil nitrogen in a wheat summer fallow farming practice. *Agron. J.*, 58, 444.
- (21) POCHON, J. et TARDIEUX, P. (1962). *Techniques d'analyses en microbiologie du sol*. Edition de la Tourelle, Saint-Mandé, Paris.
- (22) SAGARDOY, M. A. (1978). Dinámica de la microflora en un suelo cultivado con ajo (*Allium sativum* L.). *Rev. Ecol. Biol. Sol*, 15, 000-000 (en prensa).
- (23) SHTINA, E. A. and NEKRASOVA, K. A. (1971). The direct and indirect contribution of soil algae to the primary production of biocenoses. In: *IVth Int. Coll. Soil Zoology*, 37-45, Dijon, INRA, Paris.
- (24) SMID, A. E. and BEAUCHAMP, E. G. (1976). Effects of temperature and organic matter on denitrification in soil. *Can. J. Soil Sci.*, 56, 385.
- (25) SMIKA, D. E., BLACK, A. L. and GREB, B. W. (1969). Soil nitrate, soil water, and grain yields in a wheat-fallow rotation in the Great Plains as influenced by straw mulch. *Agron. J.*, 61, 785.
- (26) SMITH, J. H. and DOUGLAS, C. L. (1968). Influence of residual nitrogen on wheat straw decomposition in the field. *Soil Sci.*, 106, 456.
- (27) SMITH, J. H. and DOUGLAS, C. L. (1971). Wheat straw decomposition in the field. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 35, 269.
- (28) TSURU, S. (1972). Microbial decomposition of organic matter under natural conditions. *Symp. Biol. Hung.*, 11, 101. J. Szegi (Ed.), Akadémiai Kiadó, Budapest.
- (29) WAID, J. S. (1960). The growth of fungi in soil. In: *The ecology of soil fungi*, 55-75. Parkinson, D. and Waid, J. S. (Eds.), Liverpool University Press, Liverpool.
- (30) WALKER, A. G. (1941). The colonization of buried wheat straw by soil fungi, with special reference to *Fusarium culmorum*. *Ann. appl. Biol.*, 28, 333.
- (31) WANI, S. P. and SHINDE, P. A. (1977). Studies on biological decomposition of wheat straw. I. Screening of wheat decomposing micro-organisms *in vitro*. *Plant and Soil*, 47, 13.
- (32) WELLS, G. J. (1971). Skeleton weed (*Chondrilla juncea*) in the Victorian Mallee. 4. Effects of fallowing on wheat yields and weed populations. *Aust. J. exp. Agric. Anim. Husb.*, 11, 313.
- (33) WITKAMP, M. (1964). Environmental influences on microbial populations and activity of the forest floor. *Trans. 8th Int. Congr. Soil Sci.*, 3, 647, Bucharest, Romania.

PODER FERTILIZANTE DE UN «COMPOST» DE BASURA URBANA

I. CAPACIDAD DE SUMINISTRO DE MACRONUTRIENTES

por

F. GALLARDO-LARA, M. AZCON, M. GOMEZ y E. ESTEBAN

SUMMARY

FERTILIZER VALUE OF A TOWN REFUSE COMPOST. I. ABILITY AS MACRONUTRIENT SUPPLIER

We have carried out a fertility study in order to know the ability of a town refuse compost to supply plants with macronutrients (N, P, S, K, Ca and Mg), irrespectively of other fertility aspects derived from the incorporation of this product to the soil. Rye-grass was grown in pots in the greenhouse using a sandy loam soil amended with three levels of compost: 20, 40 and 60 Tm/Ha. Three mineral fertilizer levels containing the same macronutrient concentration of the three levels of compost were also tested.

The results of yield showed a significant positive effect over control in all the three levels of compost used. However, in the first crop there was a significantly low effect of compost treatments compared with mineral fertilizer treatments.

According with plant analysis results, a residual effect of the compost treatments during the seven crops obtained in the whole experiment it was evident.

The application of this compost for agricultural purposes showed limitations due to N and S; to avoid this disadvantage it should be advisable to complete it with these nutrients. Limitations due to P and K can also appear by employing compost at the lowest level. This product showed a high efficiency to supply Ca and Mg.

INTRODUCCIÓN

El empleo de las basuras urbanas en la preparación de «compost» presentan un doble interés, de una parte contribuye a solucionar la situación deficitaria en estiércoles naturales, y de otra elimina uno de los mayores agentes de contaminación como son las basuras urbanas, cuya cantidad se incrementa progresivamente con el crecimiento demográfico. Efectivamente, con la transformación de las basuras urbanas en «compost» se evita tener que recurrir a los procedimientos tradicionales empleados para su eliminación, tales como el amontonamiento y la incineración. Dicha acumulación inevitablemente ocasiona dispersión de estos residuos con grave riesgo de contaminación tanto del suelo

como de las corrientes de agua, aparte de otros desagradables efectos como son malos olores, fomento de insectos y roedores dañinos, etc. La incineración constituye uno de los mayores agentes de contaminación atmosférica.

El uso en agricultura de estos residuos transformados, plantea múltiples problemas de gran interés para la investigación; en este sentido, el estudio generalizado que se lleva a cabo sobre los mismos consiste en la evaluación de su poder fertilizante, para lo cual en experiencias de campo o invernadero son comparados con otros fertilizantes que pueden ser: orgánicos, como estiércoles de distinto origen (Garner, 1966; Hortenstine y Rothwell, 1968), o bien simplemente combinaciones minerales (Hortenstine y Rothwell, 1973); de acuerdo con los resultados de cosecha y análisis de planta, obtenidos con los distintos tratamientos es posible evaluar, de forma relativa, la capacidad fertilizante que presentan estos «composts». A veces, la investigación se orienta hacia temas específicos tales como: necesidades en N de éstos productos con objeto de incrementar su grado de maduración antes de aplicarlos al suelo (Fuller y Bosma, 1965), influencia de estos fertilizantes orgánicos sobre la población de nematodos del suelo (Hunt et al., 1973), efecto de estos composts» sobre la germinación de semillas (Hunt et al., 1972), etc.

En lo que atañe a nuestro país ya varias ciudades, entre ellas Granada, han implantado este proceso de transformación de los residuos urbanos en «compost». En la ciudad mencionada, y desde hace varios años, viene funcionando una planta transformadora de basuras urbanas que proporciona anualmente 20.000 Tm. de «compost». Sobre este producto se ha considerado de gran interés llevar a cabo un estudio orientado a conocer sus propiedades fertilizantes. En este sentido, los aspectos a estudiar que se presentan son diversos, pues la incorporación de este material orgánico al suelo incide sobre distintos parámetros de la fertilidad del mismo, tales como disponibilidad en macronutrientes y micronutrientes, contenido en materia orgánica, alteración de la actividad biológica etc. De acuerdo con estas consideraciones, se ha creído oportuno iniciarlo en relación con la capacidad que posee este «compost», de suministrar macronutrientes, por ser el aspecto que de forma más inminente se traduce en rendimientos de cosecha, que en definitiva son los tenidos en cuenta desde el punto de vista práctico de la agricultura.

MATERIAL Y MÉTODOS

Material objeto de estudio

El material empleado en nuestro trabajo ha sido el «compost» de basura urbana que la sociedad SERCONSA obtiene en su planta transformadora de Granada, con un rendimiento de «compost» respecto a basura bruta del 45 por 100. Las determinaciones analíticas efectuadas sobre este producto seco según la metodología descrita por Jackson (1958), Lachica et al. (1965, 1973), y Primo Yufera y Carrasco Dorrien (1973), dan para el mismo las siguientes características: pH (H_2O): 6,1; materia orgánica: 44,00 por 100; N: 1,41 por

100; P: 0,38 por 100; S: 0,66 por 100; K: 0,65 por 100; Ca: 8,72 por 100; Mg: 0,80 por 100; C: 25,51 por 100; C/N: 18,90. El «compost» utilizado en nuestra experiencia tenía una humedad del 19,21 por 100.

Experiencia de fertilidad

Con objeto de estudiar la capacidad de cesión de macronutrientes del mencionado producto se llevó a cabo en invernadero un cultivo con macetas, en el cual se utilizó un suelo de la vega alta del Genil con las siguientes características de fertilidad: pH (H_2O): 7,5; materia orgánica: 1,20 por 100; y conteniendo N: 80,73 mg.; P_2O_5 : 29,66 mg.; K_2O : 6,25 mg. por 100 g. de suelo seco. Su textura viene definida por los siguientes valores: arena 62,00 por 100; limo: 25,60 por 100; arcilla 12,40 por 100.

En la experiencia de invernadero se ensayaron tres dosis de «compost», equivalentes en peso seco a 20,40 y 60 Tm/Ha. En lo sucesivo las tres dosis de «compost» se identificarán según el orden creciente establecido como C-I, C-II y C-III. También se establecieron tres dosis de fertilizantes minerales que respectivamente corresponden al contenido en N, P, S, K, Ca y Mg de las tres dosis de «compost», y que de igual manera se identificarán como F-I, F-II y F-III. La fertilización mineral se hizo empleando los siguientes productos: $CO_3(NH_4)_2$, $2H_2O$, PO_4H_2K , CO_3K_2 ; SO_4Mg , $7H_2O$, Cl_2Mg , $6H_2O$ y $Ca(OH)_2$. Un tratamiento que sólo contenía suelo se empleó como testigo (T).

La experiencia se llevó a cabo empleando macetas de material plástico de 2,5 l. de capacidad, que tenían un drenaje y dispositivo para recoger las pérdidas por percolación. Cada maceta contenía 3.250 g. de suelo, seco al aire y tamizado (4 mm. luz), que se mezclaron homogéneamente con la correspondiente dosis de «compost» o de fertilizantes minerales y sin que se hiciera ninguna fertilización complementaria durante el desarrollo de la experiencia. Antes de sembrar cada una de las macetas ya preparadas se cubren con 40 g. de arena de cuarzo de una granulometría inferior a 2 mm.; sobre esta capa se lleva a cabo la siembra a razón de 1.000 semillas de Rye-grass (índice de germinación: 92 por 100), por maceta, que a su vez se cubren con otros 160 g. de arena. Las semillas previamente a la siembra, fueron imbibidas en agua por espacio de 4 h. a 20° C. Se eligió el Rye-grass (*Lolium perenne* L.) como planta extractora por su facilidad a brotar después de sucesivos cortes (Chaminade, 1964).

El cultivo se llevó a cabo en invernadero bajo condiciones controladas de temperatura y humedad (Tabla I). En una primera fase, a todas las macetas sembradas, se les adicionaron cuidadosamente 400 ml. de agua y se situaron sobre una unidad de enraizamiento automatizada que intermitentemente producía una nebulización de agua con objeto de mantener la humedad suficiente para facilitar la germinación de las semillas y evitar la compactación del suelo. Cuando germinaron las semillas y las plántulas emergieron, lo cual se verificó entre los 5-7 días después de la siembra, las macetas se trasladaron al invernadero y se

dispusieron según un diseño de bloques de parcelas al azar con 5 repeticiones, totalizando en conjunto 35 macetas.

TABLA I

Temperatura y humedad relativa durante el período de cultivo

Fecha	Temperatura °C		Humedad relativa %	
	Diurna (16 h)	Nocturna (8 h)	Diurna	Nocturna
Julio.....	32 ± 3	22 ± 2	45 ± 5	80 ± 5
Agosto.....	34 ± 3	22 ± 2	50 ± 5	80 ± 5
Septiembre.....	30 ± 3	20 ± 1	65 ± 5	80 ± 5
Octubre.....	28 ± 2	18 ± 2	70 ± 5	85 ± 5
Noviembre.....	28 ± 2	18 ± 1	72 ± 2	85 ± 5
Diciembre.....	26 ± 2	16 ± 1	72 ± 2	85 ± 5
Enero.....	26 ± 2	16 ± 1	72 ± 2	85 ± 5
Febrero.....	26 ± 2	18 ± 1	72 ± 2	85 ± 2

Periódicamente, teniendo en cuenta la intensidad de la evapotranspiración, las macetas fueron regadas con iguales cantidades de agua y de tal manera que la humedad del suelo correspondiese aproximadamente a su capacidad de campo: si accidentalmente las macetas percolaban estos líquidos de drenaje eran vertidos en el siguiente riego.

Las macetas se mantuvieron en invernadero durante 7 meses, siendo recolectadas mensualmente hasta obtener siete recogidas de parte aérea. Este material verde se llevó a secar durante 24 h. a 70° C y, por pesada, se obtuvieron los datos correspondientes a cosecha seca.

Técnica analítica

El material vegetal seco, correspondiente a cada recogida efectuada, fue analizado según Lachica et al. (1965, 1973) con objeto de conocer la concentración de N, P, S, K, Ca y Mg correspondiente a cada repetición y tratamiento.

RESULTADOS

Resultados de cosecha

En la fig. 1 se muestran los valores medios obtenidos de cosecha seca por tratamiento a lo largo de las siete recogidas que han comprendido la experiencia. En la fotografía 1 se puede apreciar el desarrollo vegetativo alcanzado en la primera cosecha de acuerdo con los distintos tratamientos.

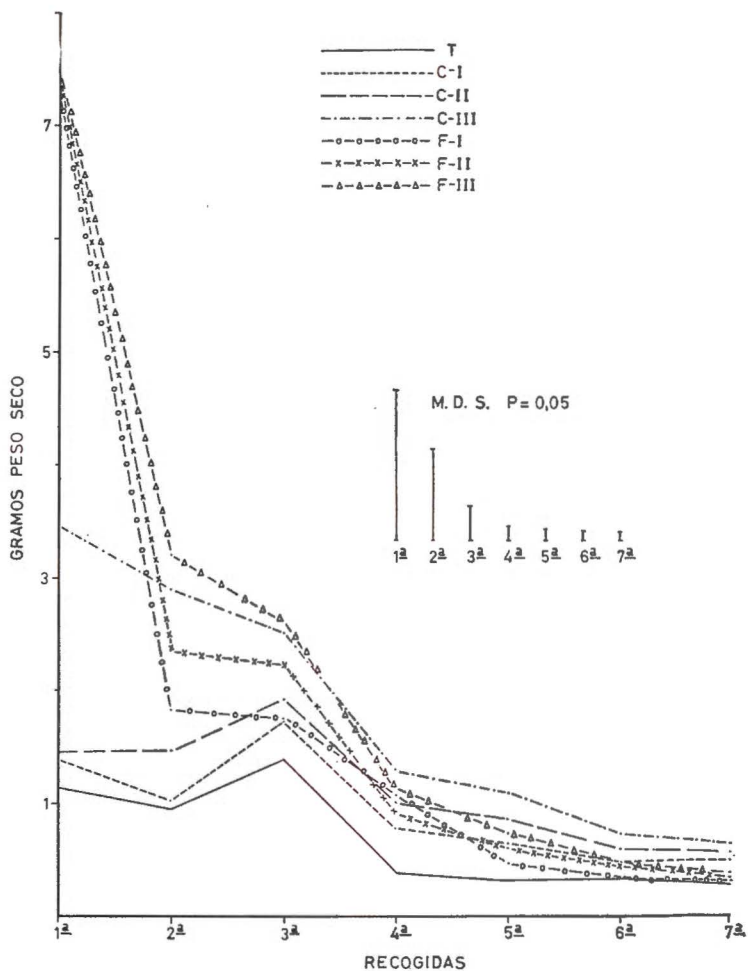
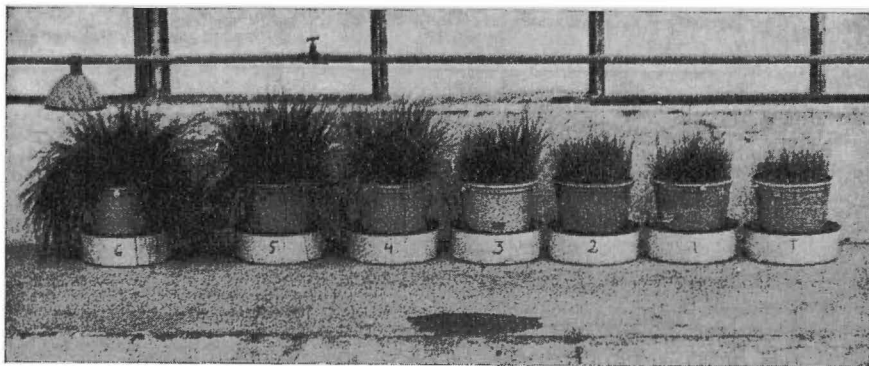


Fig. 1.—(M. D. S., Duncan).



Fotografía núm. 1.—Los distintos tratamientos se identifican de la siguiente forma:
 T: testigo, 1: C-I, 2: C-II, 3: C-III, 4: F-I, 5: F-II, 6: F-III.

Resultados del análisis efectuado sobre las plantas crecidas bajo el efecto de los distintos tratamientos

En las figs. 2, 3, 4, 5, 6 y 7 se exponen los valores medios que expresan la evolución de la concentración de los diversos macronutrientes en plantas a través del desarrollo de la experiencia.

En las tablas II, III, IV, V, VI y VII se muestran los valores relativos a cantidad total de macronutrientes extraídos por maceta a lo largo de los distintos cortes efectuados.

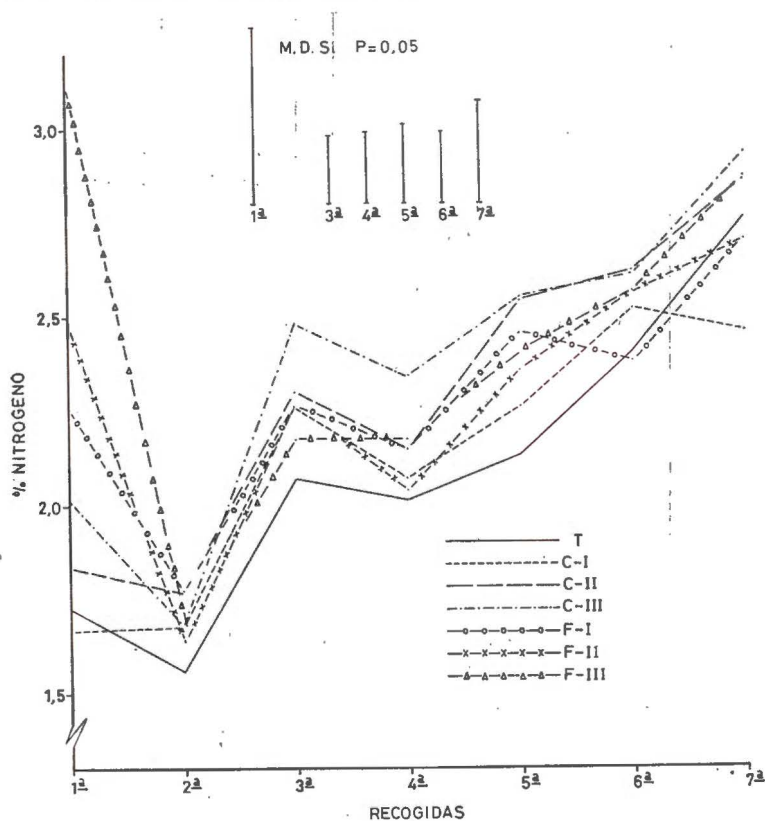


Fig. 2.—(M. D. S., Duncan).

DISCUSIÓN

A la vista de los resultados que se exponen en la fig. 1 relativos a cosecha seca, queda patente que en todas las recogidas, existe una respuesta significativa, frente al testigo, por parte de los tratamientos con «compost» y con fertilizantes minerales, excepto para C-I y C-II en las recogidas 1.^a y 2.^a, F-I en la recogida 6.^a y F-I, F-II y F-III en la

recogida 7.^a, ello indica que, en las condiciones ensayadas, este «compost» no deprime la cosecha, efecto que ha sido observado, en ocasiones, por otros investigadores al trabajar con materiales de este tipo (Rien Vis, 1968; Purves y Mackenzie, 1973-74).

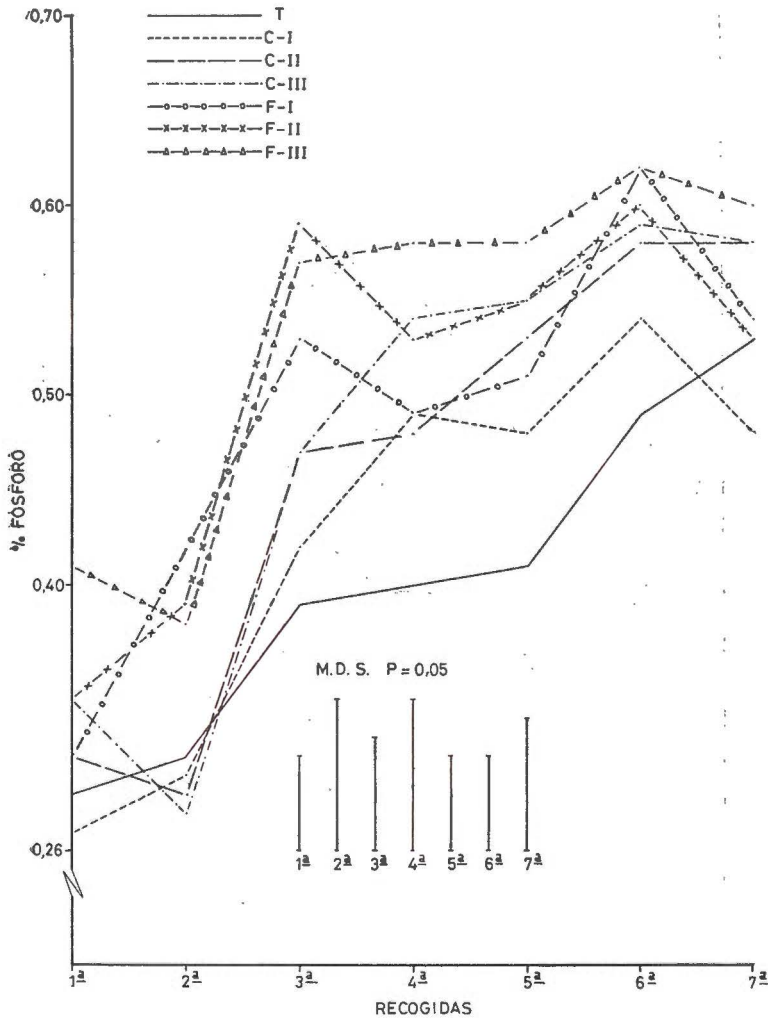


Fig. 3.—(M. D. S., Duncan).

Comparando los resultados obtenidos, resulta evidente que en la primera cosecha existe una respuesta significativa a favor de los fertilizantes minerales. En la segunda cosecha, la dosis III de «compost» supera significativamente a la dosis I de fertilizantes minerales, pasando en la tercera cosecha a casi igualar también el efecto de la dosis III de éstos, llegando a superarla de forma significativa en cortes sucesivos.

Esto pone en evidencia, después de la primera recogida, un considerable efecto residual del «compost», que se muestra significativo frente a los tratamientos con fertilizantes minerales.

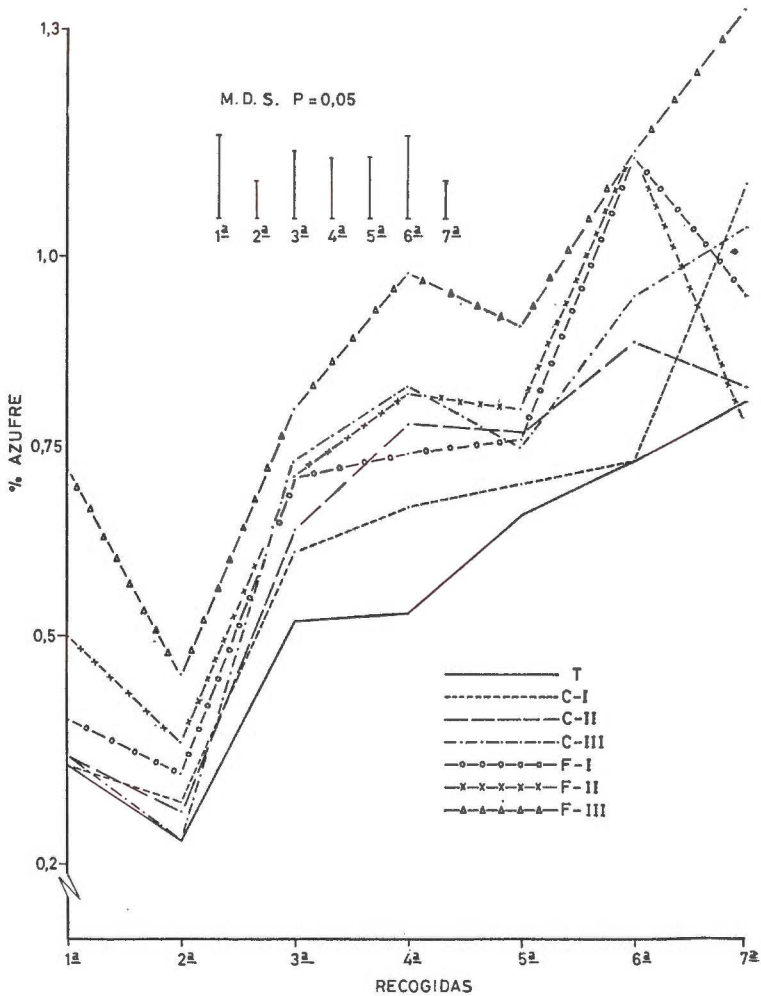


Fig. 4.—(M. D. S., Duncan).

Si se comparan entre sí los resultados de cosecha obtenidos con las tres dosis de «compost», se observa que la respuesta es proporcional a la cantidad de «compost» añadida, existiendo una diferencia significativa entre la dosis máxima frente a cualquiera de las restantes dosis utilizadas; deduciéndose de esta observación que los problemas de toxicidad que pudieran presentarse con el empleo de este fertilizante, tal como han descrito otros autores para productos similares (Purves y

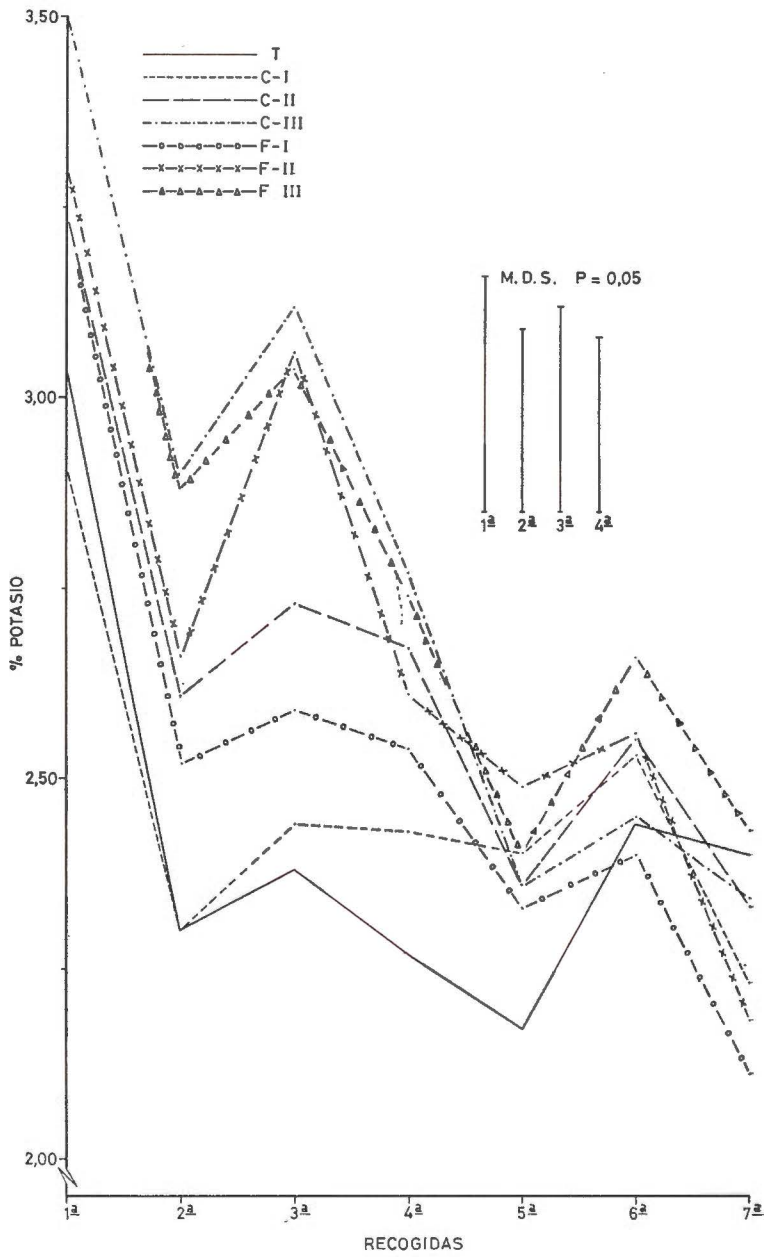


Fig. 5.—(M. D. S., Duncan).

Mackenzie, 1974), en las condiciones de la experiencia no tienen lugar para las dosis de «compost» aplicadas, pues de lo contrario debería deprimirse la cosecha tanto más cuanto mayor fuese la dosis de «compost» utilizado.

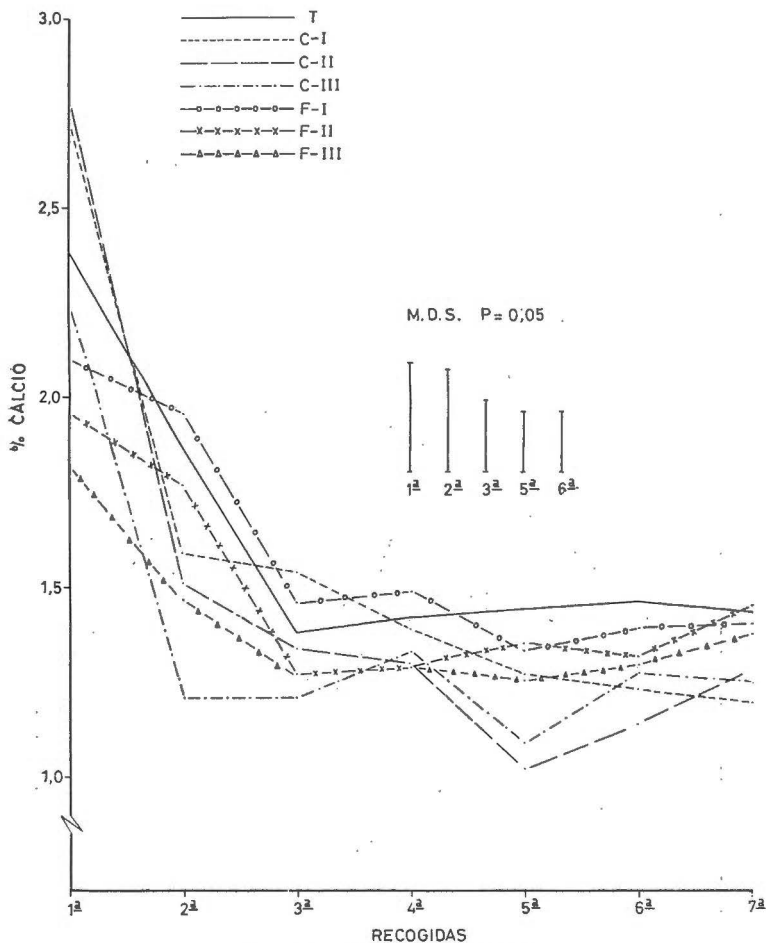


Fig. 6.—(M. D. S., Duncan).

En lo que se refiere a los fertilizantes minerales, la primera recogida da unos resultados de cosecha que no difieren significativamente para las tres dosis empleadas, lo que indica que la dosis I proporciona unos niveles de nutrientes bastante aceptables y que deben estar cercanos a los necesarios para este cultivo: los cuales nos serán de gran utilidad posteriormente al considerarlos como valores de referencia en la discusión de los resultados de análisis de planta. En cortes sucesivos, también se observa un efecto residual para estos tratamientos, pero sin llegar a ser tan acentuado como el de los tratamientos con «compost».

La observación de los resultados correspondientes a concentración de nutrientes en plantas (figs. 2, 3, 4, 5, 6 y 7), indica que en el primer corte los niveles de N y S conseguidos en las plantas crecidas en las macetas adicionadas de «compost», resultan significativamente más bajos que los conseguidos con dosis equivalentes de fertilizantes minera-

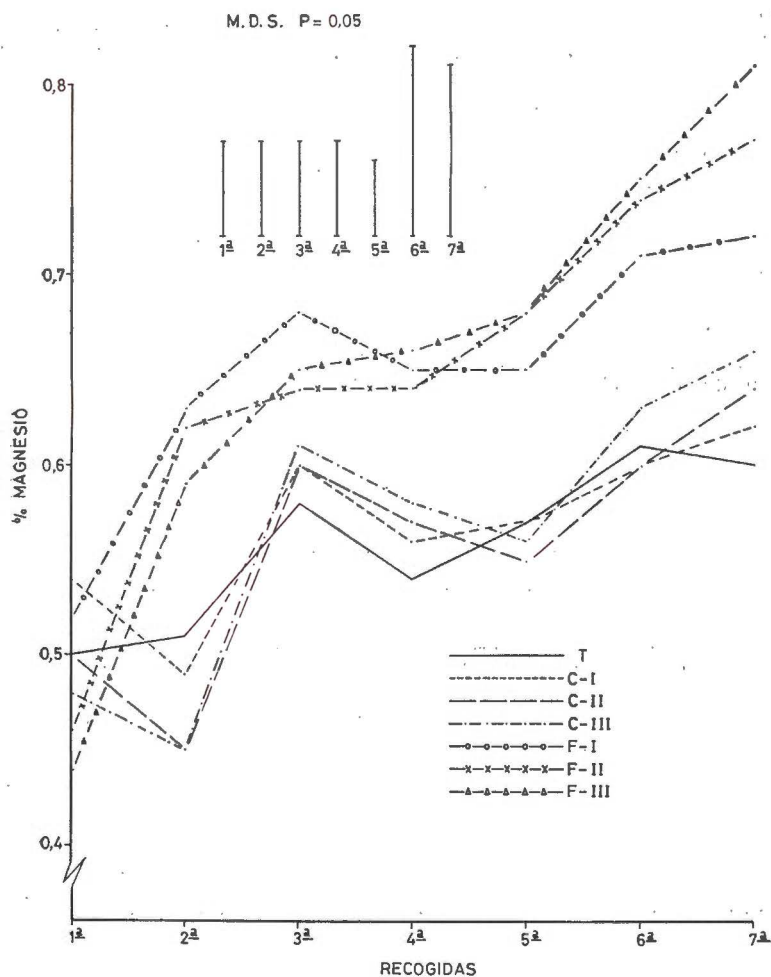


Fig. 7.—(M. D. S., Duncan).

les. Estos resultados coinciden con los claros estados de clorosis, deficiencia de N, principalmente, observados desde un principio y a lo largo de la experiencia en las macetas adicionadas de «compost» así como en el testigo, y que posteriormente también se advirtieron después del primer corte, en las macetas tratadas con fertilizantes minerales. En relación con esta apreciación relativa a la incapacidad del «compost» para suministrar N, Vlamis y Willians (1971) mejoran el rendimiento

TABLA II

Cantidad total de N extraída expresada en mg.

Tratamientos	Recogidas						
	1. ^a	2. ^a	3. ^a	4. ^a	5. ^a	6. ^a	7. ^a
T	20,15 c	14,04 d	28,99 e	8,04 f	6,91 f	8,25 d	7,85 e
C-I	24,35 c	17,39 cd	39,16 d	15,91 e	14,76 cd	12,00 c	12,61 c
C-II	26,37 c	25,63 cb	44,15 cd	21,71 c	22,12 b	16,02 b	16,11 b
C-III	68,81 c	48,94 a	62,19 a	30,40 a	27,80 a	18,89 a	19,17 a
F-I	166,95 b	30,79 bc	40,16 cd	15,56 e	11,65 e	8,18 d	8,01 e
F-II	185,48 ba	38,46 b	50,70 bc	18,54 d	14,34 d	11,77 c	8,92 de
F-III	229,37 a	54,18 a	56,85 ba	24,67 b	17,31 c	12,87 c	11,07 cd

Valores medios de cinco repeticiones.

En cada columna, los valores medios seguidos de la misma letra no son significativamente diferentes al nivel de probabilidad 0,05 (prueba de Duncan).

TABLA III

Cantidad total de P extraída expresada en mg.

Tratamientos	Recogidas						
	1. ^a	2. ^a	3. ^a	4. ^a	5. ^a	6. ^a	7. ^a
T	3,49 d	2,77 c	5,50 d	1,58 d	1,34 e	1,68 e	1,50 d
C-I	3,68 d	3,17 c	7,44 cd	3,73 c	3,13 c	2,57 c	2,47 c
C-II	4,41 d	4,14 c	8,99 c	4,86 b	4,65 b	3,55 b	3,26 b
C-III	11,89 c	8,10 b	11,84 b	7,04 a	6,05 a	4,27 a	3,79 a
F-I	22,64 b	7,97 b	9,33 c	3,53 c	2,41 d	1,79 e	1,59 d
F-II	26,01 ab	8,98 ab	13,24 ab	4,78 b	3,34 c	2,73 cd	1,57 d
F-III	31,49 a	11,90 a	15,01 a	6,56 a	4,15 b	3,25 bd	2,33 c

Valores medios de cinco repeticiones.

En cada columna, los valores medios seguidos de la misma letra no son significativamente diferentes al nivel de probabilidad 0,05 (prueba de Duncan).

de un «compost» de basura complementándolo con N. En el mismo sentido Hortenstine y Rothwell (1969), y Terman et al. (1973) han observado fenómenos de este tipo al trabajar con materiales similares al que nos ocupa; los dos primeros explican estas situaciones deficitarias de N en el suelo, debido a un mecanismo competitivo por el N asimilable entre las plantas y los microorganismos del suelo, como consecuencia de la proliferación de estos últimos bajo el influjo que ejercen otros factores de crecimiento aportados por el «compost». De igual manera,

los resultados obtenidos para el S se podrían explicar como consecuencia de la inmovilización de este elemento, que muchas veces se da de forma paralela a la inmovilización del N (Stewart, 1966).

TABLA IV

Cantidad total de S extraída expresada en mg.

Tratamientos	Recogidas						
	1. ^a	2. ^a	3. ^a	4. ^a	5. ^a	6. ^a	7. ^a
T	2,94 c	2,83 c	7,27 d	1,85 e	2,12 e	2,34 d	2,14 c
C-I	4,44 c	2,44 c	10,13 c	4,36 d	4,75 bcd	3,50 cd	5,23 b
C-II	4,93 c	4,03 bc	12,33 b	7,02 bc	6,19 abc	5,79 a	4,13 b
C-III	12,02 c	6,72 b	19,69 a	9,92 a	8,09 a	7,00 a	6,48 a
F-I	28,59 b	5,93 b	8,68 cd	5,37 cd	3,58 de	3,80 bcd	2,56 c
F-II	36,70 b	7,27 b	13,51 b	7,21 b	4,66 cd	5,26 abc	2,25 c
F-III	56,32 a	14,37 a	19,97 a	10,67 a	6,88 ab	5,49 ab	5,35 ab

Valores medios de cinco repeticiones.

En cada columna, los valores medios seguidos de la misma letra no son significativamente diferentes al nivel de probabilidad 0,05 (prueba de Duncan).

TABLA V

Cantidad total de K extraída expresada en mg.

Tratamientos	Recogidas						
	1. ^a	2. ^a	3. ^a	4. ^a	5. ^a	6. ^a	7. ^a
T	36,16 c	22,26 d	33,28 c	9,10 e	7,14 e	8,44 c	6,86 c
C-I	41,79 c	24,14 d	44,68 bc	18,87 d	15,45 c	12,09 b	11,63 b
C-II	46,64 c	38,07 cd	52,57 b	27,01 c	20,56 b	15,55 a	11,31 b
C-III	120,34 b	84,70 a	78,28 a	36,08 a	25,91 a	17,76 a	15,65 a
F-I	235,16 a	46,23 bc	46,12 bc	18,60 d	11,03 d	8,25 c	6,29 c
F-II	247,88 a	63,10 b	68,96 a	22,62 cd	15,20 c	11,83 b	7,23 c
F-III	263,05 a	92,84 a	80,27 a	31,26 b	17,46 bc	13,48 b	9,56 b

Valores medios de cinco repeticiones.

En cada columna, los valores medios seguidos de la misma letra no son significativamente diferentes al nivel de probabilidad 0,05 (prueba de Duncan).

En lo que atañe a P y K en la primera cosecha, los niveles en planta conseguidos con las dosis más altas de «compost» superan o igualan a los alcanzados con los fertilizantes minerales; resultando en cambio, inferiores los conseguidos con la dosis más baja de «compost». De aquí

TABLA VI

Cantidad total de Ca extraída expresada en mg.

Trata- mientos	Recogidas						
	1. ^a	2. ^a	3. ^a	4. ^a	5. ^a	6. ^a	7. ^a
T	26,39 c	17,10 b	19,31 c	5,59 c	4,63 d	4,97 c	4,05 c
C-I	38,35 c	17,04 b	25,66 b	11,12 b	8,22 b	5,86 bc	6,18 b
C-II	39,97 c	22,00 b	25,64 b	13,27 b	8,90 b	6,98 b	7,17 ab
C-III	77,73 b	35,50 a	30,27 ab	17,13 a	11,92 a	9,23 a	8,23 a
F-I	153,40 a	35,93 a	25,57 b	10,91 b	6,31 c	4,79 e	4,10 c
F-II	145,48 a	41,29 a	28,73 ab	11,77 b	8,18 b	5,98 bc	4,64 c
F-III	134,32 a	46,72 a	33,15 a	14,80 ab	9,04 b	6,55 b	5,40 bc

Valores medios de cinco repeticiones.

En cada columna, los valores medios seguidos de la misma letra no son significativamente diferentes al nivel de probabilidad 0,05 (prueba de Duncan).

TABLA VII

Cantidad total de Mg extraída expresada en mg.

Trata- mientos	Recogidas						
	1. ^a	2. ^a	3. ^a	4. ^a	5. ^a	6. ^a	7. ^a
T	5,72 c	4,82 c	8,03 c	2,15 d	1,86 e	2,08 d	1,72 c
C-I	7,64 c	5,15 c	10,41 bc	4,43 c	3,75 c	2,88 c	3,17 b
C-II	7,12 c	6,62 c	11,53 b	5,78 b	4,82 b	3,67 b	3,61 ab
C-III	16,55 b	13,12 b	15,19 a	7,48 a	6,15 a	4,61 a	4,35 a
F-I	37,91 a	11,42 b	11,97 b	4,73 c	3,10 d	2,43 c	2,11 c
F-II	33,76 a	14,14 b	16,82 a	5,79 b	4,14 c	3,36 b	2,47 c
F-III	32,98 a	18,39 a	16,93 a	7,57 a	4,92 b	3,81 b	3,18 b

Valores medios de cinco repeticiones.

En cada columna, los valores medios seguidos de la misma letra no son significativamente diferentes al nivel de probabilidad 0,05 (prueba de Duncan).

se deduce que el «compost» presentaría ciertas limitaciones, con respecto a dichos elementos, si su aplicación se hace en cantidad inferior a la dosis III de nuestra experiencia. Esta observación coincide con los resultados obtenidos por Zobač y Váňa (1974) que mejoran notablemente el poder fertilizante de un «compost» de basura urbana complementándolo con P y K.

En cuanto a los otros dos nutrientes Ca y Mg, el empleo de las tres

dosis de «compost» proporciona, en la primera cosecha, concentración de éstos elementos igual o superior a la que se obtiene con la dosis I de fertilizantes minerales, por lo cual en relación con éstos dos nutrientes el uso del «compost» no presentaría problemas.

Coincidiendo con la segunda recogida, en todos los tratamientos tiene lugar un descenso en la concentración de los nutrientes estudiados, sólo se presentan algunas excepciones: el Mg que crece para las tres dosis de fertilizantes minerales y testigo; y el P que también crece para las dosis I y II de fertilizantes minerales, dosis I de «compost» y testigo.

En cortes sucesivos, de forma global admitiendo ciertas fluctuaciones se observan claramente dos tendencias en lo relativo a concentración de nutrientes en hoja, de una parte el K y Ca que tienden a disminuir a medida que se prolonga la experiencia y hay una disminución del crecimiento; y de otra el resto de los elementos considerados cuya concentración tiende a incrementarse.

Las tendencias que se observan en las distintas gráficas nos permiten deducir algunos aspectos fisiológicos relacionados con el desarrollo de la experiencia. A través de las sucesivas recogidas, la cosecha, con carácter general, disminuye (fig. 1) como consecuencia del agotamiento de uno o varios nutrientes en el medio soporte del cultivo. El aumento en parte aérea de la concentración de los elementos N, P, S, y Mg (figs. 2, 3, 4 y 7) los elimina como factores limitantes del crecimiento y por tanto de la cosecha. La evolución de la concentración de K (fig. 5) es fuertemente negativa y se corresponde con la disminución del rendimiento, de donde se deduce su actuación como factor limitante. Esta observación viene avalada por el deficiente contenido de K en el suelo (6,25 mg/100g.); de otra parte del análisis de textura se deduce la baja proporción de arcilla (12,40 por 100), y por tanto las escasas reservas de K que debe tener el suelo utilizado en la experiencia.

Los resultados referentes a cantidad total de nutrientes extraídos por maceta y tratamiento, que se exponen en las tablas II, III, IV, V, VI y VII, ponen de manifiesto que para todos los elementos se observan, en el primer corte, diferencias significativas a favor de los tratamientos que incluyen fertilización mineral frente a todos los demás; al mismo tiempo sucede que todos los tratamientos con «compost» superan aunque no significativamente al testigo. A partir de la segunda recogida existe más igualdad entre los tratamientos con «compost» y los de fertilizantes minerales, resultando ya significativamente favorables, para algunos elementos (N, K), los resultados obtenidos con la dosis más alta de «compost» cuando se comparan con los conseguidos con las dosis más bajas de fertilizantes minerales. A medida que avanza la experiencia esta tendencia favorable a los tratamientos con «compost» continúa acentuándose y se manifiesta de forma clara en los últimos cortes, quedando patente de este modo, al igual que sucedió con los resultados de cosecha, el mayor efecto residual que el «compost» posee con respecto a todos los macronutrientes estudiados, frente a los tratamientos a base de fertilizantes minerales.

En los resultados que nos ocupan, de forma global y con algunas excepciones, se observa un incremento de los valores correspondientes

al corte tercero frente al segundo; esto mismo se aprecia en los resultados de cosecha relativos al testigo y dosis I y II de «compost» y, como se ha indicado anteriormente, sucede también para algunos elementos en los resultados de concentración en planta. Este comportamiento particular podría explicarse a través del factor temperatura que alcanzó sus valores más altos durante el período de crecimiento anterior al segundo corte (8 agosto-8 septiembre), suavizándose después en el correspondiente al tercer corte; bajo este punto de vista este factor adverso habría repercutido más directamente sobre las plantas crecidas en peores condiciones nutritivas, que precisamente son las que más reaccionan, en ese momento, el testigo y dosis más bajas de «compost».

CONCLUSIONES

El «compost» objeto de estudio en nuestro trabajo, cuando se adiciona al suelo en ningún momento ejerce un efecto depresivo sobre la cosecha. En otro sentido, de cara a una cosecha inmediata no resulta tan eficiente como la mezcla de fertilizantes minerales ensayada, de contenido en macronutrientes equivalente al suyo.

De acuerdo con el planteamiento de la experiencia, ha sido posible comprobar para este producto una considerable capacidad de cesión gradual de macronutrientes, o efecto residual, por lo cual su incorporación al suelo debe contribuir a incrementar la fertilidad potencial de éste.

Pensando en el empleo de este «compost», buscando un efecto inmediato, las mayores limitaciones vienen representadas por su lenta cesión de N y S, debido a lo cual su uso debe hacerse complementándolo con un aporte de los mencionados nutrientes. En lo que atañe a P y K también pueden presentarse problemas si su utilización se hace en cantidad inferior a la dosis más alta utilizada. En cuanto al Ca y Mg, este producto proporciona cantidad suficiente de estos nutrientes.

Agradecimiento

Los autores desean agradecer al Laboratorio de Análisis en Serie de la Estación Experimental del Zaidín que dirige el Dr. Aguilar Vilalvilla, al Ayudante de Investigación Sr. Melgar Porcel y «SERCON-SA», la colaboración prestada en la realización de este trabajo.

RESUMEN

Se ha llevado a cabo un estudio de fertilidad con objeto de conocer la capacidad de suministrar macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg y S) de un «compost» de basura urbana, prescindiendo de otros aspectos de fertilidad que puedan derivarse de la incorporación de dicho producto al suelo. Para ello, se realizó en invernadero un cultivo de Rye-grass en macetas, utilizando un suelo franco arenoso. Se ensayaron tres dosis de «compost» equivalentes a 20, 40 y 60 Tm/Ha. También se aplicaron otras tantas dosis de fertilizantes minerales que corresponden en cantidad, respectivamente, al contenido en macronutrientes de las mencionadas dosis de «compost». Una serie de cinco macetas conteniendo solamente suelo constituyeron el testigo.

Los resultados de cosecha ponen de manifiesto que el «compost», a lo largo de

«experiencia para las tres dosis ensayadas, tiene un efecto significativamente positivo frente al testigo; mostrándose, en cambio, de cara a la primera cosecha, significativamente inferior que los tratamientos a base de fertilizantes minerales.

De acuerdo con los datos de análisis de planta se observa que dicho producto, cuando se adiciona al suelo, ejerce un efecto residual que se mantiene a lo largo de las siete recogidas que ha comprendido la experiencia.

Con miras a la aplicación como fertilizante de este «compost», las mayores limitaciones vienen representadas por el N y S, por lo que resultaría aconsejable complementario con estos nutrientes. Con respecto al P y K también podría presentar problemas, sobre todo si se utiliza en cantidades inferiores a las dosis II y III de la experiencia. Se muestra, en cambio, eficiente en el suministro de Ca y Mg.

*Sección de Química Agrícola.
Estación Experimental del Zaidín, C. S. I. C. Granada.*

BIBLIOGRAFÍA

- CHAMINADE, R. (1964). Diagnostic des carences minerales du sol par l' experimentation en petits vases de vegetation. *Science du Sol*, II, 157-168.
- FULLER, W. H., BOSMA, S. (1965). The nitrogen requirement of some municipal compost. *Compost Sci.*, 6 (2), 26-32.
- GARNER, H. V. (1966). Comparison of farmyard manure, sewage sludge, and other organic manures tested on potatoes and a succeeding cereal crop at Rothamsted. *J. Agric. Sci., Camb.*, 67, 267-280.
- HORTENSTINE, C. C., ROTHWELL, D. F. (1968). Garbage compost as a source of plants nutrients for oats and radishes. *Compost Sci.*, 9 (2), 23-25.
- HORTENSTINE, C. C., ROTHWELL, D. F. (1969). Evaluation of composted municipal refuse as a plant nutrient source and soil amendment on Leon fine sand. *Soil Crop Sci. Soc. Florida*, 29, 312-319.
- HORTENSTINE, C. C., ROTHWELL, D. F. (1973). Pelletized municipal refuse compost as a soil amendment and nutrient source for sorghum. *J. Environ. Quality*, 2 (3), 343-345.
- HUNT, P. G., HORTENSTINE, C. C., ENO, C. F. (1972). Direct and indirect effects of composted municipal refuse on plant seed germination. *Soil Crop Sci. Soc. Florida*, 32, 92-95.
- HUNT, P. G., HORTENSTINE, C. C., SMART, G. C. Jr. (1973). Responses of plant parasitic and saprophytic nematode populations to composted municipal refuse. *J. Environ. Quality*, 2 (2), 264-266.
- JACKSON, M. L. (1958). *Soil Chemical Analysis*. Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs. New Jersey.
- LACHICA, M., RECALDE, L., ESTEBAN, E. (1965). Análisis foliar. Métodos analíticos utilizados en la Estación Experimental del Zaidín. *Anal. Edaf. y Agrobiol.*, XXIV (9-10), 589-610.
- LACHICA, M., AGUILAR, A., YÁÑEZ, J. (1973). Análisis foliar. Métodos utilizados en la Estación Experimental del Zaidín (II). *Anal. Edaf. y Agrobiol.*, XXXII (11-12), 1033-1047.
- PRIMO YUFERA, E., CARRASCO DORRIEN, J. M. (1973). *Química Agrícola. I. Suelos y Fertilizantes*. Ed. Alhambra, Madrid.
- PURVES, D., MACKENZIE, E. J. (1973). Effects of applications of municipal compost on uptake of copper, zinc and boron by garden vegetables. *Plant and Soil*, 39 (2), 361-371.
- PURVES, D., MACKENZIE, E. J. (1974). Phytotoxicity due to boron in municipal compost. *Plant and Soil*, 40 (1), 231-235.
- RIEM VIS, F. (1968). What is the desirable mixing ratio in town refuse compost. peat mixtures. *Meded. Dir. Tuinb.*, 31, 484-486.
- STEWART, B. A. (1966). Nitrogen-sulphur relationship in plant tissues, plant residues, and soil organic matter. *Trans. Comm., II-IV, Int. Soc. Soil Sci., Aberdeen*, 131-138.

- TERMAN, G. L., SOILEAU, J. M., ALLEN, S. E. (1973). Municipal waste compost: effects on crop yields and nutrient content in greenhouse por experiments. *J. Environ. Quality*, 2 (1), 84-89.
- VILAMIS, J., WILLIAMS, D. E. (1971). Utilization of municipal organic wastes as agricultural fertilizers. *California Agriculture*, 25 (7), 7-9.
- ZOBAČ, J., VÁNĀ, J. (1974). The agronomical effectiveness of industrially produced compost in dependence on the technology of production. *Rostlinná výroba*, 20 (9), 931-939.

Recibido para publicación: 24-IV-78

NEMATODOS ENCONTRADOS EN LOS SUELOS DE LA PROVINCIA DE TOLEDO

por

A. BELLO

SUMMARY

THE SOIL NEMATODES FOUND IN THE PROVINCE OF TOLEDO (CENTRAL SPAIN)

A detailed analysis of the investigations carried out on the nematodes found in the province of Toledo was done. The species, host plants and distribution of nematodes are indicated.

About 43 different nematodes have been found, of which are considered interesting from an agricultural point of view: *Criconemoides crotaloides*, *C. cf. xenoplax*, *Criconemoides* spp., *Helicotylenchus dihystrera*, *Helicotylenchus* spp., *Heterodera mani*, *H. schachtii*, *Heterodera* spp., *Longidorus elongatus*, *L. profundorum*, *Meloidogyne incognita acrita*, *Meloidogyne* spp., *Pratylenchus thornei*, *Pratylenchus* sp., *Trichodorus* spp., *Tylenchorhynchus gadeai*, *Tylenchorhynchus* sp., *Tylenchus* spp., *Xiphinema americanum*, *X. brevicolle*, *X. index*, *X. ingens*, *X. italiae*, *X. mediterraneum* and *Xiphinema* spp.

Finally, the importance of the nematodes to increase the rentability of the crops of this province, the interest of the revision of the material used in previous work and the necessity to determine the magnitude of the problems which the nematodes produce, are indicated.

Este trabajo forma parte de un plan para el estudio de la problemática, dentro de la protección vegetal, de la provincia de Toledo, que nos permita conocer de un modo científico el comportamiento y mecanismo de acción de los diferentes agentes patógenos, como base para la planificación de medidas de control eficaces.

En el campo de la Fitonematología, hemos comenzado por hacer una revisión de los trabajos existentes sobre nematodos del suelo de esta provincia, como punto de partida para nuevas investigaciones. A continuación presentamos los resultados de esta revisión, haciendo un comentario de cada uno de los trabajos e indicando cuales han sido sus aportaciones al conocimiento de la nematofauna de la provincia.

Cañizo et al. (1926), al estudiar unas raíces de remolacha que presentaban tuberosidades que fueron enviadas por D. Juan Gómez-Menor, citan en los alrededores de Toledo el nematodo *Heterodera radicumicola*. Esta referencia fue recogida por Domínguez García-Tejero (1943) quien, al estudiar las plagas de la remolacha, indica la presencia de *H. radicumicola* en varias provincias españolas, entre ellas Toledo. Este último

autor en el año 1951, en un estudio de la distribución de las plagas de la remolacha, recoge la cita de *H. marioni* en «distintas plantas», cuyos nombres no indica, de Talavera de la Reina (fecha de registros años 1946 y 1948) y Toledo (año 1926), esta última referencia coincide con la de Cañizo et al. (1926).

Gadea (1952), en su tesis doctoral, estudia una muestra de musgos (*Hypnum* sp.), de Toledo, recogida a 5 m. sobre el nivel del Tajo el 29 de abril de 1949, en un suelo de pH 6,8 y un 60 por 100 de partículas inorgánicas y el resto orgánicas. Se encontraron 5 hembras de *Rhabditis teres* y un macho y 8 hembras de *Dorylaimus carteri*. Se hace la descripción de estas especies.

Jiménez-Millán et al. (1964), en un estudio morfológico de las especies del género *Meloidogyne* en España, citan *M. incognita* var. *acrita* en tomatera (*Lycopersicon esculentum* Mill.) de Arcicóllar, recogida en el año 1963, con una infección de grado (3); *Meloidogyne* spp., también en muestras recogidas en 1963, en la misma localidad en los cultivos siguientes: judías (*Vicia sativa* L.) con grado de infección (3), sandía (*Citrulus vulgaris* Schrad.) (2), col (*Brassica oleracea* L.) (3) y en varias especies de malas hierbas (2 y 3), así como en tomatera de la localidad de Yuncos. El material de *L. esculentum* Mill. de Arcicóllar fue utilizado en la descripción de *M. incognita* var. *acrita*.

Jiménez-Millán et al. (1965), en el catálogo de los nematodos del suelo encontrados en España, muestrearon en las localidades siguientes: Almorox, Añover de Tajo, Camarena, Caudilla, Chozas de Canales, Escalona, Novés, Ocaña, Pinedo, Quintanar de la Orden, Toledo (capital), Valmojado, Vega de Safón (La), Ventas de Retamosa (Las), Villatobas y Km. 61 ctra. Madrid-Portugal; estudiándose las siguientes especies vegetales: *Amaranthus* sp., *Anthemis nobilis* L. (manzanilla romana), *Beta vulgaris* var. *cycla* (acelga), *Brassica napus* L. (nabo), *Cicer arietinum* L. (garbanzo), *Cucumis melo* L. (melón), *Cydonia oblonga* Mill. (membrillo), *Chenopodium* sp., *Ficus carica* L. (higuera), *Helianthus annuus* L. (girasol), *Lactuca sativa* L. (lechuga), *Malva* sp., *Medicago sativa* L. (alfalfa), *Nicotiana tabacum* L. (tabaco), *Olea europaea* L. (olivo), *Phaseolus vulgaris* L. (alubia), *Pinus* sp., *Populus alba* L. (álamo), *Prunus amygdalus* Stokes (almendro), *P. cerasus* L. (guindo), *P. persica* Sieb. et Zucc. (melocotonero), *Ranunculus* sp., *Triticum sativum* L. (trigo), *Vicia fava* var. *equina* L. (haba), *Vitis vinifera* L. (vid) y *Zizyphus vulgaris* Lam. (azufaifo); y se citan nuevos nematodos para esta provincia: *Acrobeles* spp., *Acrobeloides* spp., *Alaimus* spp., *Aphelenchoides* spp., *Aphelenchus* sp., *Cefalóbidos*, *Criconemoides crotaloides*, *C. cf. xenoplax*, *Criconemoides* spp., *Discolaimus* sp., *Dorylaimus* sp., *Helicotylenchus dihystra*, *Helicotylenchus* spp., *Heterodera* spp., *Hoploláimidos*, *Longidorus* spp., *Mononchus* spp., *Plectus* sp., *Pratylenchus thornei*, *Pratylenchus* sp., *Pratilénquidos*, *Rhabditis* spp., *Tilénquidos*, *Trichodorus* spp., *Tripyla* spp., *Tylenchorhynchus* sp., *Tylenchus* spp., *Xiphinema americanum*, *X. longidoroides*, *X. cf. nigeriense* y *Xiphinema* spp.

Se observan en este trabajo los siguientes errores: la presencia de *Tylenchus* sp. en *Phaseolus vulgaris* L. (alubia), de la localidad de Valdemorillo (Toledo), cuando pertenece a Madrid, y en *Ficus carica* L. (higuera) de la localidad de Almorox (Madrid), cuando pertenece a la

provincia de Toledo; también en higuera, la presencia de *Xiphinema* sp. en el Km. 76 ctra. Madrid-Sevilla, que corresponde, según el borrador del trabajo, al Km. 476 ctra. Madrid-Sevilla. Asimismo es errónea, en esta misma planta y nematodo, la cita correspondiente al Km. 61 carretera Madrid-Toledo, perteneciendo correctamente al mismo Km. de la ctra. Madrid-Portugal, situado después de pasar Sta. Cruz del Retamar.

Arias et al. (1965), al describir tres nuevas especies para la ciencia, dan La Vega de Safón (próxima a Toledo, capital) como localidad tipo de *Pratylenchus gadeai*, nematodo que fue encontrado en una muestra de suelo procedente de un cultivo de huerta, donde se cultivaba *Brassica napus* L.; Braun y Loof (1966), al estudiar dos individuos del material tipo (un macho y una hembra), indican que pertenecen a una especie del género *Tylenchorhynchus* próxima a *T. parvus* Allen, 1955 y *T. hoesengi* paetzold, 1958, señalando la posibilidad de que haya más de una especie.

Romero (1971) cita *Heterodera mani* en *Beta vulgaris* L. var. *saccharifera* Alef. de La Guardia (Toledo), recogida a finales de octubre de 1971.

Arias y Navacerrada (1973), al estudiar la distribución de *Xiphinema* en los viñedos españoles, recogen en los antecedentes la cita de *X. nigeriense* en Ventas (Toledo), hecha por Jiménez-Millán et al. (1965), cuando en realidad fue citado como *X. cf. nigeriensis* en Las Ventas de Retamosa. En la revisión del material utilizado en los trabajos anteriores no se confirma esta cita y las referencias anteriores de *Xiphinema* spp. en Novés, Ocaña y Ventas de Retamosa, fueron determinadas como *X. mediterraneum*, la de Valmojado como *X. mediterraneum* y *X. ingens* y la de Quintanar de la Orden como *X. mediterraneum* y *X. italiae*, quedando por confirmar la cita de *Xiphinema* sp. en Pinedo.

Romero et al. (1973), al estudiar el género *Heterodera* en España, citan *H. schachtii* en remolacha de Madrudejos.

Arias (1975), al estudiar las especies del género *Xiphinema* asociadas a los cultivos de frutales (no se incluye el olivar, cítricos y vid), da un cuadro de antecedentes donde recoge las siguientes citas de este género en la provincia de Toledo: *X. cf. longidorus* en *Prunus cerasus* en Chozas de Canales. *Xiphinema* sp. en *Ficus carica* de las localidades de Almorox, Km. 61 ctra. Madrid-Toledo, La Vega de Safón y Las Ventas de Retamosa. La cita de *Xiphinema* sp. en el Km. 76 ctra. Madrid-Sevilla, que podría pertenecer a Toledo y que fue hecha, lo mismo que todas las anteriores por Jiménez-Millán et al. (1965), se corrigió en el cuadro 2 de resultados, por Km. 476 ctra. Madrid-Sevilla (término de Carmona, Sevilla). *X. cf. longidoroides* figura como *X. longidoroides* en Jiménez-Millán et al. (1965). En el cuadro 2, que recoge los resultados de la revisión del material original, se indica que la cita de *X. longidoroides* en guindo de Chozas de Canales corresponde a *X. mediterraneum*; las citas de *Xiphinema* sp. en higuera de las localidades de Almorox y Las Ventas de Retamosa a *X. mediterraneum*, y la cita de La Vega de Safón a *X. index*. La cita del Km. 61 ctra. Madrid-Portugal no fue corregida y no figura en el cuadro 2. Se dan las siguientes nuevas citas: *X. mediterraneum* en *Cydonia vulgaris* L. de Ventas de Retamosa, y en *Prunus persica* Stokes de Talavera de la Reina.

Arias (1975), en un estudio de la distribución del género *Xiphinema* en los suelos españoles, recoge en la tabla I de antecedentes las siguientes citas:

Xiphinema americanum

- Ref. 1.3. *Cucumis melo* L. (melón) en Chozas de Canales.
- Ref. 1.15. *Triticum sativum* L. (trigo) en La Vega de Safón.
- Ref. 1.16. *Zizyphus vulgaris* Lam. (azufaifo) en Chozas de Canales.

Xiphinema spp.

- Ref. 10.16. *Cicer arietinum* L. (garbanzo) en Caudilla.
- Ref. 10.43. *Olea europaea* L. (olivo) en Escalona.
- Ref. 10.44. *Olea europaea* L. (olivo) en Ocaña.

Según los resultados de la revisión del material utilizado en los trabajos anteriores, recogidos en el cuadro 2, las referencias 1.3 y 1.16 pertenecen a *X. brevicolle*, y las referencias 10.43 y 10.44 a *X. mediterraneum*, siendo errónea la referencia 10.16 y no fue revisada la 1.15. Es nueva cita la de *X. brevicolle* en *Lycopersicon esculentum* L. de Chozas de Canales y las siguientes de *X. mediterraneum*: *Nicotiana tabacum* L. de Talavera de la Reina, *Olea europaea* L. de Las Ventas de Retamosa, y *Quercus ilex* L. de Quintanar de la Orden.

Navacerrada (1977), en una revisión de los estudios realizados sobre los nematodos asociados a los cultivos de vid en España, incluye *Longidorus* sp. en la localidad de Villatobas, que fue determinado como *X. mediterraneum* por Arias et al. (1973), según Arias in litt. se indica también la posibilidad de que las citas de *Heterodera* en viñedo, estén relacionadas con la presencia de plantas acompañantes.

Arias (1977), al estudiar la distribución del género *Longidorus* en España, indica la presencia de *Longidorus elongatus* en *Triticum sativum* L. de Talavera de la Reina y *L. profundorum* en *Vitis vinifera* L. de las localidades de Cebolla, Novés y Toledo. No hace referencia a las citas anteriores, hechas por Jiménez-Millán et al. (1965), de *Longidorus* spp. en *Ficus carica* L. (higuera) de Almorox y en *Vitis vinifera* L. de Villatobas. Según Arias in litt. estas dos citas son erróneas y según las revisiones de Arias (1976) y Arias et al. (1973) respectivamente corresponden a *X. mediterraneum*.

En la 3.^a Bienal de la Real Sociedad Española de Historia Natural de 1977, en Granada, se presentaron tres trabajos: Arias et al. (1977), sobre los nematodos transmisores de virus en el Valle del Tiétar; Lara et al. (1977), sobre los nematodos de la cuenca alta del río Tiétar, donde se indica que se estudia en la provincia de Toledo la Sierra de San Vicente y la cuenca alta del río Guadyervas, y por último la comunicación de Calahorra et al. (1977), donde dan un género nuevo para España en Navalmorcuende. Estos resultados no se recogen en el presente trabajo por estar pendiente su publicación.

A continuación presentamos los resultados de todos estos trabajos

en tres apartados: nematodos encontrados, plantas y localidades estudiadas. Se utiliza la nomenclatura empleada por los diferentes autores y al final se hace un análisis de los datos, resaltando las conclusiones de mayor interés para los cultivos de la provincia.

TABLA I

Nematodos encontrados en la provincia de Toledo

Ref.	Especies de nematodos y plantas	Localidades y autores (1)
2. <i>Acrobeloides</i> spp.		
1.1.	<i>Olea europaea</i> L. (olivo)	Valmojado.
1.2.	<i>Prunus cerasus</i> L. (guindo)	Chozas de Canales.
2. <i>Acrobeloides</i> spp.		
2.1.	<i>Prunus amygdalus</i> Stokes (almendro) y 2.2. <i>Vitis vinifera</i> L. (vid)	Almorox.
3. <i>Alaimus</i> spp.		
3.1.	<i>Cucumis melo</i> L. (melón)	Chozas de Canales.
3.2.	<i>Olea europaea</i> L. (olivo)	Valmojado.
3.3.	<i>Vitis vinifera</i> L. (vid)	Almorox.
3.4.	<i>Vitis vinifera</i> L. (vid)	Villatobas.
3.5.	<i>Zizyphus vulgaris</i> Lam. (azufaifo)	Chozas de Canales.
4. <i>Aphelenchoides</i> spp.		
4.1.	<i>Cydonia oblonga</i> Mill. (membrillo)	Camarena.
4.2.	<i>Prunus amygdalus</i> Stokes (almendro)	Almorox.
5. <i>Aphelenchus</i> sp.		
5.1.	<i>Zizyphus vulgaris</i> Lam. (azufaifo)	Chozas de Canales.

(1) El autor de la cita se sustituyó por el número asignado en la bibliografía, que aparece en esta columna junto a la localidad. Las referencias sin número pertenecen a Jiménez-Millán et al. (1965).

Ref.	Especies de nematodos y plantas	Localidades y autores (1)
6. Cefalóbidos		
6.1.	<i>Beta vulgaris</i> L. var. <i>rapa</i> (remolacha)	Añoover de Tajo.
7. <i>Criconemoides crotaloides</i>		
7.1.	<i>Olea europaea</i> L. (olivo)	Escalona.
7.2.	<i>Olea europaea</i> L. (olivo)	Valmojado.
7.3.	<i>Vitis vinifera</i> L. (vid)	Chozas de Canales.
8. <i>Criconemoides</i> cf. <i>xenoplax</i>		
8.1.	<i>Cucumis melo</i> L. (melón)	Chozas de Canales.
9. <i>Criconemoides</i> spp.		
9.1.	<i>Ficus carica</i> L. (higuera)	Almorox.
9.2.	<i>Ficus carica</i> L. (higuera)	Valmojado.
9.3.	<i>Ficus carica</i> L. (higuera)	Ventas de Retamosa.
9.4.	<i>Lycopersicon esculentum</i> Mill. (tomate)	Arcicóllar.
9.5.	<i>Prunus amygdalus</i> Stokes (almendro)	Almorox.
9.6.	<i>Prunus amygdalus</i> Stokes (almendro)	Quintanar de la Orden.
9.7.	<i>Vitis vinifera</i> L. (vid)	Novés.
9.8.	<i>Vitis vinifera</i> L. (vid)	Pinedo.
9.9.	<i>Vitis vinifera</i> L. (vid)	Valmojado.
9.10.	<i>Vitis vinifera</i> L. (vid)	Ventas de Retamosa.
9.11.	<i>Zizyphus vulgaris</i> Lam. (azufaifo)	Chozas de Canales.
10. <i>Discolaimus</i> sp.		
10.1.	<i>Zizyphus vulgaris</i> Lam. (azufaifo)	Chozas de Canales.
11. <i>Dorylaimus carteri</i>		
11.1.	Musgos (<i>Hypnum</i> sp.)	Toledo (capital) (10).
12. <i>Dorylaimus</i> spp.		
12.1.	<i>Anthemis nobilis</i> L. (manzanilla romana)	Ocaña.
12.2.	<i>Beta vulgaris</i> L. var. <i>cycla</i> (acelga)	La Vega de Safón.
12.3.	<i>B. vulgaris</i> L. var. <i>rapa</i> (remolacha)	Añoover de Tajo.

Ref.	Especies de nematodos y plantas	Localidades y autores (1)
12.4.	<i>Brassica napus</i> L. (nabo)	La Vega de Safón.
12.5.	<i>Cicer arietinum</i> L. (garbanzo)	Caudilla.
12.6.	<i>Cucumis melo</i> L. (melón)	Chozas de Canales.
12.7.	<i>Cydonia oblonga</i> Mill. (membrillo)	Camarena.
12.8.	<i>Ficus carica</i> L. (higuera)	Almorox.
12.9.	<i>Ficus carica</i> L. (higuera)	La Vega de Safón.
12.10.	<i>Ficus carica</i> L. (higuera)	Km. 61 ctra. Madrid- Portugal.
12.11.	<i>Helianthus annuus</i> L. (girasol)	Arcicóllar.
12.12.	<i>Lactuca sativa</i> L. (lechuga)	Arcicóllar.
12.13.	<i>Lycopersicon esculentum</i> Mill. (tomate)	Arcicóllar.
12.14.	<i>Lycopersicon esculentum</i> Mill. (tomate)	Yuncos.
12.15.	<i>Medicago sativa</i> L. (alfalfa)	Ocaña.
12.16.	<i>Pinus</i> sp.	Toledo (capital).
12.17.	<i>Prunus amygdalus</i> Stokes (almendro)	Almorox.
12.18.	<i>Prunus amygdalus</i> Stokes (almendro)	Quintanar de la Orden.
12.19.	<i>Prunus cerasus</i> L. (guindo)	Chozas de Canales.
12.20.	<i>Triticum sativum</i> L. (trigo)	Caudilla.
12.21.	<i>Vicia faba</i> var. <i>equina</i> L. (haba)	La Vega de Safón.
12.22.	<i>Vitis vinifera</i> L. (vid)	Chozas de Canales.
12.23.	<i>Vitis vinifera</i> L. (vid)	Novés.
12.24.	<i>Vitis vinifera</i> L. (vid)	Ocaña.
12.25.	<i>Vitis vinifera</i> L. (vid)	Quintanar de la Orden.
12.26.	<i>Vitis vinifera</i> L. (vid)	Valmojado.
12.27.	<i>Vitis vinifera</i> L. (vid)	Ventas de Retamosa.
12.28.	<i>Vitis vinifera</i> L. (vid)	Villatobas.
12.29.	<i>Zizyphus vulgaris</i> Lam. (azufaifo)	Chozas de Canales.
13. <i>Helicotylenchus dihystra</i>		
13.1.	<i>Olea europaea</i> L. (olivo)	Ocaña.
14. <i>Helicotylenchus</i> spp.		
14.1.	<i>Olea europaea</i> L. (olivo)	Escalona.
14.2.	<i>Olea europaea</i> L. (olivo)	Valmojado.
14.3.	<i>Prunus amygdalus</i> Stokes (almendro)	Quintanar de la Orden.
14.4.	<i>Vitis vinifera</i> L. (vid)	Ocaña.
14.5.	<i>Zizyphus vulgaris</i> Lam. (azufaifo)	Chozas de Canales.
15. <i>Heterodera mani</i>		
15.1.	<i>Beta vulgaris</i> L. var. <i>saccharifera</i> Alef. (remolacha).	La Guardia (14).

Ref.	Especies de nematodos y plantas	Localidades y autores (1)
16. <i>H. marioni</i>		
16.1.	Plantas indeter.	Talav. de la Reina (9)
16.2.	Remolacha	Toledo (7 in 9).
17. <i>H. schachtii</i>		
17.1.	Remolacha	Madrirdejos (15).
18. <i>Heterodera</i> spp.		
18.1.	<i>Ficus carica</i> L. (higuera)	Km. 61 ctra. Madrid- Portugal.
18.2.	<i>Vitis vinifera</i> L. (vid)	Novés.
18.3.	<i>Vitis vinifera</i> L. (vid)	Ventas de Retamosa.
19. Hoploláimidos		
19.1.	<i>Cydonia oblonga</i> Mill. (membrillo)	Camarena.
20. <i>Longidorus elongatus</i>		
20.1.	<i>Triticum sativum</i> L. (trigo)	Talav. de la Reina (3).
21. <i>L. profundorum</i>		
21.1.	<i>Vitis vinifera</i> L. (vid)	Cebolla (3).
21.2.	<i>Vitis vinifera</i> L. (vid)	Novés (3).
21.3.	<i>Vitis vinifera</i> L. (vid)	Toledo (3).
22. <i>Meloidogyne incognita acrita</i>		
22.1.	<i>Lycopersicon esculentum</i> Mill. (tomate)	Arcicóllar (12).
23. <i>Meloidogyne</i> spp.		
23.1.	<i>Amaranthus</i> sp.	Arcicóllar.
23.2.	<i>Beta vulgaris</i> L. var. <i>rapa</i> (remolacha)	Arcicóllar.

Ref.	Especies de nematodos y plantas	Localidades y autores (1)
23.3.	<i>Brassica oleracea</i> var. <i>acephala</i> L. (col)	Arcicóllar (12).
23.4.	<i>Citrullus vulgaris</i> Schrad. (sandía)	Arcicóllar (12).
23.5.	<i>Chenopodium</i> sp. (ceñiglo)	Arcicóllar.
23.6.	<i>Lycopersicon esculentum</i> Mill. (tomate)	Yuncos (12).
23.7.	<i>Malva</i> sp.	Arcicóllar.
23.8.	<i>Nicotiana tabacum</i> L. (tabaco)	Talavera de la Reina.
23.9.	<i>Phaseolus vulgaris</i> L. (alubia)	Arcicóllar (12).
23.10.	<i>Ranunculus</i> sp.	Arcicóllar.
24. <i>Mononchus</i> spp.		
24.1.	<i>Beta vulgaris</i> L. var. <i>cycla</i> (acelga)	La Vega de Safón.
24.2.	<i>Cucumis melo</i> L. (melón)	Chozas de Canales.
24.3.	<i>Cydonia oblonga</i> Mill. (membrillo)	Camarena.
24.4.	<i>Ficus carica</i> L. (higuera)	Km. 61 ctra. Madrid- Portugal.
24.5.	<i>Olea europaea</i> L. (olivo)	Escalona.
24.6.	<i>Olea europaea</i> L. (olivo)	Valmojado.
24.7.	<i>Olea europaea</i> L. (olivo)	Ventas de Retamosa.
24.8.	<i>Pinus</i> sp.	Toledo (capital).
24.9.	<i>Prunus amygdalus</i> Stokes (almendro)	Almorox.
24.10.	<i>Vitis vinifera</i> L. (vid)	Chozas de Canales.
24.11.	<i>Vitis vinifera</i> L. (vid)	Novés.
24.12.	<i>Vitis vinifera</i> L. (vid)	Valmojado.
24.13.	<i>Vitis vinifera</i> L. (vid)	Ventas de Retamosa.
24.14.	<i>Zizyphus vulgaris</i> Lam. (azufaifo)	Chozas de Canales.
25. <i>Plectus</i> sp.		
25.1.	<i>Vitis vinifera</i> L. (vid)	Ventas de Retamosa.
26. <i>Pratylenchus thornei</i>		
26.1.	<i>Prunus cerasus</i> L. (guindo)	Chozas de Canales.
27. <i>Pratylenchus</i> sp.		
27.1.	<i>Cicer arietinum</i> L. (garbanzo)	Caudilla.
28. Pratilénquidos		
28.1.	<i>Triticum sativus</i> L. (trigo)	Caudilla.

Ref.	Especies de nematodos y plantas	Localidades y autores (1)
29. <i>Rhabditis teres</i>		
29.1.	Musgos (<i>Hypnum</i> sp.)	Toledo (capital) (10).
30. <i>Rhabditis</i> spp.		
30.1.	<i>Ficus carica</i> L. (higuera)	Km. 61 ctra. Madrid- Portugal.
30.2.	<i>Helianthus annuus</i> L. (girasol)	Arcicóllar.
30.3.	<i>Medicago sativa</i> L. (alfalfa)	Ocaña.
30.4.	<i>Vitis vinifera</i> L. (vid)	Almorox.
30.5.	<i>Vitis vinifera</i> L. (vid)	Novés.
31. Tilénquidos		
31.1.	<i>Beta vulgaris</i> L. var. <i>cycla</i> (acelga); 31.2. <i>Brassica napus</i> L. (nabo); 31.3. <i>Triticum sativum</i> L. (trigo), y 31.4. <i>Vicia faba</i> var. <i>equina</i> L. (haba)	La Vega de Safón.
31.2.		
32. <i>Trichodorus</i> spp.		
32.1.	<i>Populus alba</i> L. (álamo)	Escalona.
32.2.	<i>Zizyphus vulgaris</i> Lam. (azufaifo)	Chozas de Canales.
33. <i>Tripyla</i> spp.		
33.1.	<i>Prunus amygdalus</i> Stokes (almendro)	Almorox.
33.2.	<i>Vitis vinifera</i> L. (vid)	Chozas de Canales.
34. <i>Tylenchorhynchus gadeai</i>		
34.1.	<i>Brassica napus</i> L. (nabo)	La Vega de Safón (3 in 6).
35. <i>Tylenchorhynchus</i> sp.		
35.1.	<i>Cicer arietinum</i> L. (garbanzo)	Caudilla.

Ref.	Especies de nematodos y plantas	Localidades y autores (1)
36. <i>Tylenchus</i> spp.		
36.1.	<i>Cucumis melo</i> L. (melón)	Chozas de Canales.
36.2.	<i>Ficus carica</i> L. (higuera)	Almorox (aunque en el trabajo aparece en Madrid).
36.3.	<i>Olea europaea</i> L. (olivo)	Valmojado.
36.4.	<i>Vitis vinifera</i> L. (vid)	Chozas de Canales.
37. <i>Xiphinema americanum</i>		
37.1.	<i>Triticum sativum</i> L. (trigo)	La Vega de Safón.
38. <i>X. brevicolle</i>		
38.1.	<i>Cucumis melo</i> L. (melón); 38.2. <i>Lycopersicon esculentum</i> L. (tomate), y 38.3. <i>Zizyphus vulgaris</i> Lam. (azufaifo)	Chozas de Canales (2).
39. <i>X. index</i>		
39.1.	<i>Ficus carica</i> L. (higuera)	La Vega de Safón (1).
40. <i>X. ingens</i>		
40.1.	<i>Vitis vinifera</i> L. (vid)	Valmojado (5).
41. <i>X. italiae</i>		
41.1.	<i>Vitis vinifera</i> L. (vid)	Quintanar de la Or- den (5).
42. <i>X. mediterraneum</i>		
42.1.	<i>Cydonia vulgaris</i> L. (membrillo)	Vent. de Retamosa (1).
42.2.	<i>Ficus carica</i> L. (higuera)	Almorox (1).
42.3.	<i>Ficus carica</i> L. (higuera)	Vent. de Retamosa (1).
42.4.	<i>Nicotiana tabacum</i> (tabaco)	Talav. de la Reina (2).

Ref.	Especies de nematodos y plantas	Localidades y autores (1)
42.5.	<i>Olea europaea</i> L. (olivo)	Escalona (2).
42.6.	<i>Olea europaea</i> L. (olivo)	Ocaña (2).
42.7.	<i>Olea europaea</i> L. (olivo)	Vent. de Retamosa (2).
42.8.	<i>Prunus cerasus</i> L. (guindo)	Chozas de Canales (1).
42.9.	<i>P. persica</i> Sieb. et Zucc. (melocotonero)	Talav. de la Reina (1).
42.10.	<i>Quercus ilex</i> L. (encina)	Quintanar de la Orden (2).
42.11.	<i>Vitis vinifera</i> L. (vid)	Novés (5).
42.12.	<i>Vitis vinifera</i> L. (vid)	Ocaña (5).
42.13.	<i>Vitis vinifera</i> L. (vid)	Puebla de Almorad. (5).
42.14.	<i>Vitis vinifera</i> L. (vid)	Quintanar de la Orden (5).
42.15.	<i>Vitis vinifera</i> L. (vid)	Valmojado (5).
42.16.	<i>Vitis vinifera</i> L. (vid)	Vent. de Retamosa (5).
42.17.	<i>Vitis vinifera</i> L. (vid)	Villatobas (5).
43. <i>Xiphinema</i> spp.		
43.1.	<i>Ficus carica</i> L. (higuera)	Km. 61 ctra. Madrid-Portugal.
43.2.	<i>Vitis vinifera</i> L. (vid)	Pinedo.

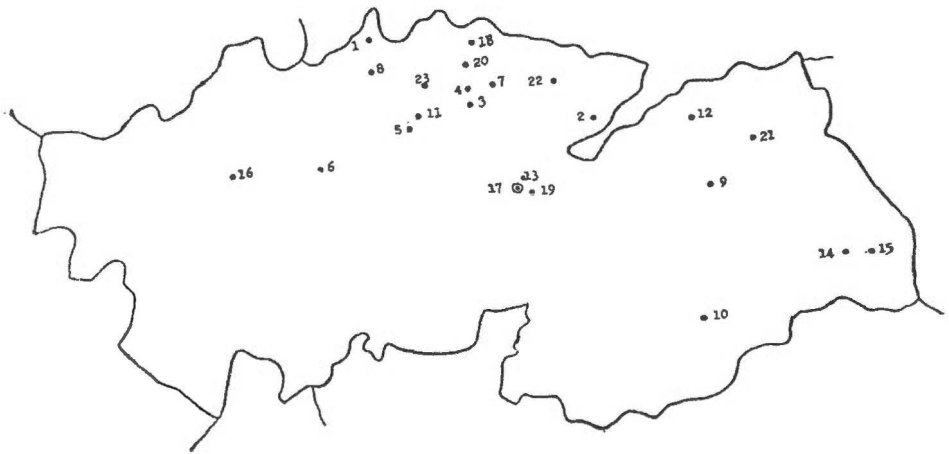
TABLA II

Plantas estudiadas (nematodos y localidades)

1. *Amaranthus* sp.: 1. *Meloidogyne* sp.: Arcicóllar.
2. *Anthemis nobilis* L. (manzanilla romana): 1. *Dorylaimus* sp.: Ocaña.
3. *Beta vulgaris* var. *cycla* (acelga): 1. *Dorylaimus* sp., 2. *Mononchus* sp. y 3. Tilénquidos: La Vega de Safón.
4. *B. vulgaris* L. var. *rapa* (remolacha): 1. Cefalóbidos, 2. *Dorylaimus* sp.: Añover de Tajo y 3. *Meloidogyne* sp.: Arcicóllar.
5. *B. vulgaris* L. var. *saccharifera* Alef. (remolacha): 1. *H. mani*: La Guardia, 2. *H. marioni*: Toledo (capital) y 3. *H. schachtii*: Madridejos (en las refs. 5.2 y 5.3 la planta figura sólo con el nombre vulgar).
6. *Brassica oleracea* var. *acephala* L. (col): 1. *Meloidogyne* sp.: Arcicóllar.
7. *B. napus* L. (nabo): 1. *Dorylaimus* sp., 2. Tilénquidos y 3. *T. gadeai*: La Vega de Safón.
8. *Cicer arietinum* L. (garbanzo): 1. *Dorylaimus* sp., 2. *Pratylenchus* sp. y 3. *Tylenchorhynchus* sp.: Caudilla.
9. *Citrullus vulgaris* Schrd. (sandía): 1. *Meloidogyne* sp.: Arcicóllar.
10. *Cucumis melo* L. (melón): 1. *Alaimus* sp., 2. *C. cf. xenoplax*, 3. *Dorylaimus* sp., 4. *Mononchus* sp., 5. *Tylenchus* sp. y 6. *X. brevicolle*: Chozas de Canales.

11. *Cydonia oblonga* Mill. (membrillo): 1. *Aphelenchoides* sp., 2. *Dorylaimus* sp., 3. Hoploláimidos. 4. *Mononchus* sp.: Camarena y 5. *X. mediterraneum*: Ventas de Retamosa.
12. *Chenopodium* sp. (ceñiglo): 1. *Meloidogyne* sp.: Arcicóllar.
13. *Ficus carica* L. (higuera): 1. *Criconemoides* spp.: Almorox, Valmojado y Ventas de Retamosa; 2. *Dorylaimus* spp.: Almorox, La Vega de Safón y Km. 61 ctra. Madrid-Portugal; 3. *Heterodera* sp.: Km. 61 ctra. Madrid-Portugal; 4. *Mononchus* sp.: Km. 61 ctra. Madrid-Portugal; 5. *Rhabditis* sp.: Km. 61 ctra. Madrid-Portugal; 6. *Tylenchus* sp.: Amorox; 7. *X. index*: La Vega de Safón; 8. *X. mediterraneum*: Almorox y Ventas de Retamosa, y 9. *Xiphinema* sp.: Km. 61 ctra. Madrid-Portugal.
14. *Helianthus annuus* L. (girasol): 1. *Dorylaimus* sp. y 2. *Rhabditis* sp.: Arcicóllar.
15. *Lactuca sativa* L. (lechuga): 1. *Dorylaimus* sp.: Arcicóllar.
16. *Lycopersicon esculentum* Mill. (tomate): 1. *Criconemoides* sp.: Arcicóllar; 2. *Dorylaimus* spp.: Arcicóllar y Yuncos; 3. *Meloidogyne incognita acrita*: Arcicóllar; 4. *Meloidogyne* sp.: Yuncos y 5. *X. brevicolle*: Chozas de Canales.
17. *Malva* sp.: 1. *Meloidogyne* sp.: Arcicóllar.
18. *Medicago sativa* L. (alfalfa): 1. *Dorylaimus* sp. y 2. *Rhabditis* sp.: Ocaña.
19. Musgos (*Hypnum* sp.): 1. *Dorylaimus carteri* y 2. *Rhabditis teres*: Toledo (capital).
20. *Nicotiana tabacum* (tabaco): 1. *Meloidogyne* sp. y 2. *X. mediterraneum*: Talavera de la Reina.
21. *Olea europaea* L. (olivo): 1. *Acrobeles* sp. y 2. *Alaimus* sp.: Valmojado; 3. *C. crotaloides*: Escalona y Valmojado; 4. *H. dihystra*: Ocaña; 5. *Helicotylenchus* spp.: Escalona y Valmojado; 6. *Mononchus* spp.: Escalona, Valmojado y Ventas de Retamosa; 7. *Tylenchus* sp.: Valmojado y 8. *X. mediterraneum*: Escalona, Ocaña y Ventas de Retamosa.
22. *Phaseolus vulgaris* L. (alubia): 1. *Meloidogyne* sp.: Arcicóllar.
23. *Pinus* sp.: 1. *Dorylaimus* sp. y *Mononchus* sp.: Toledo (capital).
24. *Populus alba* L. (álamo): 1. *Trichodorus* sp.: Escalona.
25. *Prunus amygdalus* Stokes (almendro): 1. *Acrobeloides* sp. y 2. *Aphelenchoides* sp.: Almorox; 3. *Criconemoides* spp.: Almorox y Quintanar de la Orden; 4. *Dorylaimus* spp.: Almorox y Quintanar de la Orden; 5. *Helicotylenchus* sp.: Quintanar de la Orden; 6. *Mononchus* sp. y 7. *Tripyla* sp.: Almorox.
26. *P. cerasus* L. (guindo): 1. *Acrobeles* sp.; 2. *Dorylaimus* sp.; 3. *P. thornei* y 4. *X. mediterraneum*: Chozas de Canales.
27. *P. persica* Sieb. et Zucc. (melocotonero): 1. *X. mediterraneum*: Talavera de la Reina.
28. *Ranunculus* sp.: 1. *Meloidogyne* sp.: Arcicóllar.
29. *Quercus ilex* L. (encina): 1. *X. mediterraneum*: Quintanar de la Orden.
30. *Triticum sativum* L. (trigo): 1. *Dorylaimus* sp.: Caudilla; 2. *L. elongatus*: Talavera de la Reina; 3. Pratilénquidos: Caudilla; 4. Tilénquidos y 5. *X. americanum*: La Vega de Safón.
31. *Vicia faba* var. *equina* L. (haba): 1. *Dorylaimus* sp. y 2. Tilénquidos: La Vega de Safón.
32. *Vitis vinifera* L. (vid): 1. *Acrobeloides* sp.: Almorox; 2. *Alaimus* spp.: Almorox y Villatobas; 3. *C. crotaloides*: Chozas de Canales; 4. *Criconemoides* spp.: Novés, Pinedo, Valmojado y Ventas de Retamosa; 5. *Dorylaimus* spp.: Chozas de Canales, Novés, Ocaña, Quintanar de la Orden, Valmojado, Ventas de Retamosa y Villatobas; 6. *Helicotylenchus* sp.: Ocaña; 7. *Heterodera* spp.: Novés y Ventas de Retamosa; 8. *Longidorus profundorum*: Cebolla.

- Novés y Toledo; 9. *Mononchus* spp.: Chozas de Canales, Novés, Valmojado y Ventas de Retamosa; 10. *Plectus* sp.: Ventas de Retamosa; 11. *Rhabditis* spp.: Almorox y Novés; 12. *Tripyla* sp.: Chozas de Canales; 13. *Tylenchus* sp.: Chozas de Canales; 14. *X. ingens*: Valmojado; 15. *X. italiae*: Quintanar de la Orden; 16. *X. mediterraneum*: Novés, Ocaña, Puebla de Almoradiel, Quintanar de la Orden, Valmojado, Ventas de Retamosa y Villatobas y 17. *Xiphinema* sp.: Pinedo.
33. *Zizyphus vulgaris* Lam. (azufaifo): 1. *Alainus* sp.; 2. *Aphelenchus* sp.; 3. *Criconemoides* sp.; 4. *Discolaimus* sp.; 5. *Dorylaimus* sp.; 6. *Helicotylenchus* sp.; 7. *Mononchus* sp.; 8. *Trichodorus* sp. y 9. *X. brevicolle*: Chozas de Canales.
- 34 Plantas indeter.: *H. marioni*: Talavera de la Reina.



Mapa 1.—Provincia de Toledo: Localidades estudiadas (los números se corresponden con los asignados a las localidades en la tabla III del texto).

TABLA III

Localidades estudiadas (nematodos y plantas) (Mapa 1)

1. Almorox: 1. *Acrobeloides* spp.: *P. amygdalus* Stokes (almendro) y *V. vinifera* L. (vid); 2. *Alainus* sp.: *V. vinifera* L. (vid); 3. *Aphelenchoides* sp.: *P. amygdalus* Stokes (almendro); 4. *Criconemoides* spp.: *F. carica* L. (higuera) y *P. amygdalus* Stokes (almendro); 5. *Dorylaimus* sp.: *F. carica* L. (higuera) y *P. amygdalus* Stokes (almendro); 6. *Mononchus* sp.: *P. amygdalus* Stokes (almendro); 7. *Rhabditis* sp.: *V. vinifera* L. (vid); 8. *Tripyla* sp.: *P. amygdalus* Stokes (almendro); 9. *Tylenchus* sp.: *F. carica* L. (higuera) (la localidad de esta referencia en el trabajo original, fue incluida en Madrid); 10. *Xiphinema mediterraneum*: *F. carica* L. (higuera).

2. *Añoover de Tajo*: 1. Cefalóbidos y 2. *Dorylaimus* sp.: *B. vulgaris* L. var. *rapa* (remolacha).
3. *Arcicóllar*: 1. *Criconemoides* sp.: *L. esculentum* Mill. (tomate); 2. *Dorylaimus* spp.: *H. annuus* L. (girasol); *L. sativa* L. (lechuga) y *L. esculentum* L. (tomate); 3. *Meloidogyne incognita acrita*: *L. esculentum* Mill. (tomate); 4. *Meloidogyne* spp.: *Amaranthus* sp.; *B. vulgaris* L. var. *rapa* (remolacha); *B. oleracea* var. *acephala* (col); *Citrullus vulgaris* Schrad. (sandía); *Chenopodium* sp. (ceñiglo); *Malva* sp.; *P. vulgaris* L. (alubia) y *Ranunculus* sp.; 5. *Rhabditis* sp.: *H. annuus* L. (girasol).
4. *Camarena*: 1. *Aphelenchoides* sp.; 2. *Dorylaimus* sp.; 3. Hoploláimidos y 4. *Mononchus* sp.: *C. oblonga* Mill. (membrillo).
5. *Caudilla*: 1. *Dorylaimus* sp.: *C. arietinum* L. (garbanzo) y *T. sativum* L. (trigo); 2. Pratilénquidos: *T. sativum* L. (trigo); 3. *Pratylenchus* sp.: *C. arietinum* L. (garbanzo); 4. *Tylenchorhynchus* sp.: *C. arietinum* L. (garbanzo).
6. *Cebolla*: 1. *Longidorus profundorum*: *V. vinifera* L. (vid).
7. *Chozas de Canales*: 1. *Acrobeles* sp.: *P. cerasus* L. (guindo); 2. *Alaimus* spp.: *C. melo* L. (melón) y *Z. vulgaris* Lam. (azufaifo); 3. *Aphelenchus* sp.: *Z. vulgaris* Lam. (azufaifo); 4. *Criconemoides crotaloides*: *V. vinifera* L. (vid); 5. *Criconemoides* cf. *xenoplax*: *C. melo* L. (melón); 6. *Criconemoides* sp.: *Z. vulgaris* Lam. (azufaifo); 7. *Discolaimus* sp.: *Z. vulgaris* Lam. (azufaifo); 8. *Dorylaimus* spp.: *C. melo* L. (melón), *P. cerasus* L. (guindo), *V. vinifera* L. (vid) y *Z. vulgaris* Lam. (azufaifo); 9. *Helicotylenchus* sp.: *Z. vulgaris* Lam. (azufaifo); 10. *Mononchus* spp.: *C. melo* L. (melón), *V. vinifera* L. (vid) y *Z. vulgaris* Lam. (azufaifo); 11. *Pratylenchus thornei*: *P. cerasus* L. (guindo); 12. *Trichodorus* sp.: *Z. vulgaris* Lam. (azufaifo); 13. *Tripyla* sp.: *V. vinifera* L. (vid); 14. *Tylenchus* spp.: *C. melo* L. (melón) y *V. vinifera* L. (vid); 15. *Xiphinema brevicolle*: *C. melo* L. (melón); *L. esculentum* L. (tomate) y *Z. vulgaris* Lam. (azufaifo); 16. *X. mediterraneum*: *P. cerasus* L. (guindo).
8. *Escalona*: 1. *Criconemoides crotaloides*: *O. europaea* L. (olivo); 2. *Helicotylenchus* sp.: *O. europaea* L. (olivo); 3. *Mononchus* sp.: *O. europaea* L. (olivo); 4. *Trichodorus* sp.: *P. alba* L. (álamo); 5. *Xiphinema mediterraneum*: *O. europaea* (olivo).
9. *Guardia, La*: 1. *Heterodera mani*: *B. vulgaris* L. var. *saccharifera* Alef. (remolacha).
10. *Madridejos*: 1. *Heterodera schachtii*: Remolacha.
11. *Novés*: 1. *Criconemoides* sp., 2. *Dorylaimus* sp.; 3. *Heterodera* sp., 4. *Longidorus profundorum*; 5. *Mononchus* sp., 6. *Rhabditis* sp. y 7. *Xiphinema mediterraneum*: *V. vinifera* L. (vid).
12. *Ocaña*: 1. *Dorylaimus* sp.: *A. nobilis* L. (manzanilla romana); *M. sativa* L. (alfalfa) y *V. vinifera* L. (vid); 2. *Helicotylenchus dihystra*: *O. europaea* L. (olivo); 3. *Helicotylenchus* sp.: *V. vinifera* L. (vid); 4. *Rhabditis* sp.: *M. sativa* L. (alfalfa); 5. *Xiphinema mediterraneum*: *O. europaea* L. (olivo) y *V. vinifera* L. (vid).
13. *Pinedo*: 1. *Criconemoides* sp. y 2. *Xiphinema* sp.: *V. vinifera* L. (vid).
14. *Puebla de Almoradiel*: 1. *Xiphinema mediterraneum*: *V. vinifera* L. (vid).
15. *Quintanar de la Orden*: 1. *Criconemoides* sp.: *P. amygdalus* Stokes (almendro); 2. *Dorylaimus* spp.: *P. amygdalus* Stokes (almendro) y *V. vinifera* L. (vid);

3. *Helicotylenchus* sp.: *P. amygdalus* Stokes (almendro); 4. *Xiphinema italiae*: *V. vinifera* L. (vid); 5. *X. mediterraneum*: *Q. ilex* L. (encina) y *V. vinifera* L. (vid).
16. *Talavera de la Reina*: 1. *Heterodera marioni*: Plantas indeter.; 2. *Longidorus elongatus*: *T. sativum* L. (trigo); 3. *Meloidogyne* sp.: *N. tabacum* L. (tabaco); 4. *Xiphinema mediterraneum*: *N. tabacum* L. (tabaco) y *P. persica* Sieb. et Zucc. (melocotonero).
17. *Toledo* (capital): 1. *Dorylaimus carteri*: Musgos (*Hypnum* sp.); 2. *Dorylaimus* sp.: *Pinus* sp.; 3. *Heterodera marioni*: (remolacha); 4. *Longidorus profundorum*: *V. vinifera* L. (vid); 5. *Mononchus* sp.: *Pinus* sp. y 6. *Rhabditis teres*: Musgos (*Hypnum* sp.).
18. *Valmojado*: 1. *Acrobelus* sp.: *O. europaea* L. (olivo); 2. *Alaimus* sp.: *O. europaea* L. (olivo); 3. *Criconemoides crotaloides*: *O. europaea* L. (olivo); 4. *Criconemoides* spp.: *F. carica* L. (higuera) y *V. vinifera* L. (vid); 5. *Dorylaimus* sp.: *V. vinifera* L. (vid); 6. *Helicotylenchus* sp.: *O. europaea* L. (olivo); 7. *Mononchus* spp.: *O. europaea* L. (olivo) y *V. vinifera* L. (vid); 8. *Tylenchus* sp.: *O. europaea* L. (olivo); 9. *Xiphinema ingens*: *V. vinifera* L. (vid) y 10. *X. mediterraneum*: *V. vinifera* L. (vid).
19. *Vega de Safón, La*: 1. *Dorylaimus* spp.: *B. vulgaris* L. var. *cycla* (acelga), *B. napus* L. (nabo), *F. carica* L. (higuera) y *V. faba* var. *equina* L. (haba); 2. *Mononchus* sp.: *B. vulgaris* L. var. *cycla* (acelga); 3. Tilénquidos: *B. vulgaris* L. var. *cycla* (acelga), *B. napus* L. (nabo), *T. sativum* L. (trigo) y *V. faba* var. *equina* L. (haba); 4. *Tylenchorhynchus gadeai*: *B. napus* L. (nabo); 5. *Xiphinema americanum*: *T. sativum* L. (trigo); 6. *X. index*: *F. carica* L. (higuera).
20. *Ventas de Retamosa, Las*: 1. *Criconemoides* spp.: *F. carica* L. (higuera) y *V. vinifera* L. (vid); 2. *Dorylaimus* sp.: *V. vinifera* L. (vid); 3. *Heterodera* sp.: *V. vinifera* L. (vid); 4. *Mononchus* spp.: *O. europaea* L. (olivo) y *V. vinifera* L. (vid); 5. *Plectus*: *V. vinifera* L. (vid) y 6. *Xiphinema mediterraneum*: *C. vulgaris* L. (membrillero), *F. carica* L. (higuera), *O. europaea* L. (olivo) y *V. vinifera* L. (vid).
21. *Villatobas*: 1. *Alaimus* sp., 2. *Dorylaimus* sp. y 3. *Xiphinema mediterraneum*: *V. vinifera* L. (vid).
22. *Yuncos*: 1. *Dorylaimus* sp. y 2. *Meloidogyne* sp.: *L. esculentum* Mill. (tomate).
23. *Km. 61 ctra. Madrid-Portugal (Sta. Cruz de Retamar)*: 1. *Dorylaimus* sp., 2. *Heterodera* sp., 3. *Mononchus* sp., 4. *Rhabditis* sp. y 5. *Xiphinema* sp.: *F. carica* L. (higuera).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Se han estudiado en esta provincia las 23 localidades siguientes: Almorox (3 muestras), Añover de Tajo (1), Arcicóllar (11), Camarena (1), Caudilla (2), Cebolla (1), Chozas de Canales (6), Escalona (2), Guardia, La (1), Madridejos, Los (1), Novés (1), Ocaña (4), Pinedo (1), Puebla de Almoradiel (1), Quintanar de la Orden (3), Talavera de la Reina (4), Toledo (capital) (4), Valmojado (3), Vega de Safón, La (5), Ventas de

Retamosa, Las (4), Villatobas (1), Yuncos (1) y Km. 61 ctra. Madrid-Portugal (1). La localidad de Valdemorillo, que en trabajos anteriores figuraba en la provincia de Toledo, corresponde a la provincia de Madrid y el Km. 61 de la ctra. Madrid-Portugal se encuentra pasado Sta. Cruz del Retamar.

Son 33 las especies vegetales estudiadas, siendo ocho frutales: *Cydonia oblonga* Mill. (membrillo) (2 muestras), *Ficus carica* L. (higuera) (5), *Olea europaea* L. (olivo) (4), *Prunus amygdalus* Stokes (almendro) (2), *P. cerasus* L. (guindo) (1), *P. persica* Stokes (1), *Vitis vinifera* L. (vid) (12) y *Zizyphus vulgaris* Lam. (azufaifo); 10 horticolas: *Beta vulgaris* L. var. *cycla* (acelga) (1), *Brassica oleracea* var. *acephala* L. (col) (1), *B. napus* (nabo) (1), *Cicer arietinum* L. (garbanzo) (1), *Citruillus vulgaris* Schard. (sandía) (1), *Cucumis melo* L. (melón) (1), *Lactuca sativa* L. (lechuga) (1), *Lycopersicon esculentum* (tomate) (3), *Phaseolus vulgaris* L. (alubia) (1), *Vicia faba* var. *equina* L. (haba) (1); 3 plantas industriales: *Beta vulgaris* L. var. *rapa* (remolacha) (5), *Helianthus annuus* L. (girasol) (1) y *Nicotiana tabacum* L. (tabaco) (1); una cereales: *Triticum sativum* L. (trigo) (3); 2 de interés forestal: *Pinus* sp. y *Quercus ilex* (1); 5 espontáneas: *Amaranthus* sp. (1); *Anthemis nobilis* L. (manzanilla romana) (1), *Chenopodium* sp. (1), Musgos (*Hypnum* sp.) (1), *Malva* sp. (1), y *Ranunculus* sp. (1); una pratenses: *Medicago sativa* L. (alfalfa) (1) y otros: *Populus alba* L. (álamo) (1).

Se han encontrado 43 nematodos diferentes, de ellos los 29 siguientes se pueden considerar de interés agrícola: *Criconemoides crotalooides* (3 citas); *C. cf. xenoplax* (1), *Criconemoides* spp. (11), *Helicotylenchus dihystra* (1), *Helicotylenchus* spp. (5), *Heterodera mani* (5), *H. marioni* (2), *H. schachtii* (1), *Heterodera* spp. (3), Hoploláimidos (1), *Longidorus elongatus* (1), *L. profundorum* (3), *Meloidogyne incognita acrita* (1), *Meloidogyne* spp. (10), *Pratylenchus thornei* (1), *Pratylenchus* sp. (1), Pratilénquidos (1), Tilénquidos (4); *Trichodorus* spp. (2), *Tylenchorhynchus gadeai* (1), *Tylenchorhynchus* sp. (1), *Tylenchus* spp. (4), *Xiphinema americanum* (1), *X. brevicolle* (3), *X. index* (1), *X. ingens* (1), *X. italiae* (1), *X. mediterraneum* (17), y *Xiphinema* spp. (2). Los 14 nematodos restantes son saprófagos o depredadores: *Acrobeles* spp. (2), *Acrobeloides* spp. (2), *Alaimus* spp. (5), *Aphelenchoides* spp. (2), *Aphelenchus* sp. (1), Cefalóbidos (1), *Discolaimus* sp. (1), *Dorylaimus carteri* (1), *Dorylaimus* spp. (29), *Mononchus* spp. (14), *Plectus* sp. (1), *Rhabditis teres* (1), *Rhabditis* spp. (5) y *Tripyla* spp. (2).

Si agrupamos las especies de posible interés agrícola atendiendo a sus características biológicas y patogenicidad, encontramos los siguientes problemas fitonematológicos en orden de importancia para la provincia de Toledo:

I. Nematodos transmisores de virus (en total 32 citas)

Longidorus elongatus (una cita), *L. profundorum* (3), *Trichodorus* spp. (2), *Xiphinema americanum* (1); *X. brevicolle* (3), *X. index*, *X. ingens* e *X. italiae* (1), *X. mediterraneum* (17) y *Xiphinema* spp. (2). Han aparecido en 15 localidades diferentes, no habiendo sido citados en

Añoover de Tajo, Arcicóllar, Camarena, Guardia (La), Madridejos y Yuncos, siendo abundantes en frutales y especialmente en viñedos.

II. *Nematodos formadores de nódulos*

Se han encontrado 13 citas: *Heterodera marioni* (2), *Meloidogyne incognita acrita* (1) y *Meloidogyne* spp. (10). Se encontraron en Arcicóllar (9 citas), Talavera de la Reina (2), Toledo (1) y Yuncos (1). En los cultivos de huerta (5 citas), industriales (2) y plantas acompañantes (4), planteando problemas fundamentalmente en la zona de vega.

III. *Nematodos formadores de «quistes»*

Se han encontrado las 5 citas siguientes: *Heterodera mani* (1), *H. schachtii* (1) y *Heterodera* spp. (3); se encuentran repartidas por 5 localidades: La Guardia, Madridejos, Novés, Ventas de Retamosa y Km. 61 carretera Madrid-Portugal; especialmente en cultivos industriales y frutales, faltando en cereales. Plantean problemas principalmente en las zonas de secano.

IV. *Nematodos «anillados»*

Se han encontrado 15 citas pertenecientes a las especies siguientes: *Criconemoides crotaloides* (3), *C. cf. xenoplax* (1) y *Criconemoides* spp. (11); están repartidas en 9 localidades: Almorox (2), Arcicóllar (1), Chozas de Canales (3), Escalona (1), Novés (1), Pinedo (1), Quintanar de la Orden (1), Valmojado (3) y Las Ventas de Retamosa (2), principalmente en los cultivos de frutales (13) y en huerta (2), aunque es muy posible que su frecuencia en estos últimos esté influenciada por la existencia de frutales.

V. *Nematodos ectoparásitos*

Se han encontrado 13 citas, pertenecientes a los nematodos siguientes: *Helicotylenchus dihystrera* (1), *Helicotylenchus* spp. (5), Hoploláimidos (1), *Tylenchorhynchus gadeai* (1), *Tylenchorhynchus* sp. (1) y *Tylenchus* spp. (4), repartidos en 9 localidades: Almorox (1), Camarena (1), Caudilla (1), Chozas de Canales (3), Escalona (1), Ocaña (2), Quintanar de la Orden (1), Valmojado (2) y Vega de Safón (1), apareciendo principalmente en frutales (10), aunque también se han encontrado en cultivos de huerta (3).

VI. *Nematodos endoparásitos*

Se han encontrado sólo 3 citas: *Pratylenchus thornei* (1), *Pratylenchus* spp. (1), y Pratilénquidos indeter. (1), en las localidades de Caudilla (2) y Chozas de Canales (1), en huerta, cereales y frutales. Hay que señalar que su baja frecuencia puede depender de los métodos de estudio empleados, ya que se han basado fundamentalmente sobre la fracción suelo, siendo muy posible que investigaciones futuras permitan un mejor conocimiento de la importancia que este grupo tiene para la provincia.

Finalmente hay que señalar la necesidad de modificar la nomenclatura utilizada, tanto en los nematodos como en las plantas estudiadas, siendo también necesaria la revisión del material utilizado, antes de centrarse en el estudio concreto de cada uno de estos problemas.

Agradecimiento

El autor reconoce la ayuda prestada por la Dra. María Arias al supervisar el trabajo, así como la colaboración en la estructuración del mismo de las Ayudantes Diplomados de Investigación, Visitación Alvira y M.^a Dolores Lapaz.

RESUMEN

Se hace un estudio de las publicaciones existentes sobre nematodos de la provincia de Toledo, indicándose las especies encontradas, hospederos y distribución.

Se han estudiado 23 localidades: Almorox, Añover de Tajo, Arcicóllar, Camarena, Caudilla, Cebolla, Chozas de Canales, Escalona, Guardia (La), Madridejos, Novés, Ocaña, Pinedo, Puebla de Almonadiel, Quintanar de la Orden, Sta. Cruz de Retamar, Talavera de la Reina, Toledo (capital), Valmojado, Vega de Safón, Ventas de Retamosa (Las), Villatobas y Yuncos. Se han tomado muestras de frutales, huerta, plantas industriales, cereales, forestales y espontáneas.

Se han encontrado 43 nematodos diferentes, entre los que destacan por su posible interés agrícola: *Criconemoides crotaloides*, *C. cf. xenoplax*, *Criconemoides* spp., *Helicotylenchus dihystra*, *Helicotylenchus* spp., *Heterodera mani*, *H. schachtii*, *Heterodera* spp., *Longidorus elongatus*, *L. profundorum*, *Meloidogyne incognita acrita*, *Meloidogyne* spp., *Pratylenchus thornei*, *Pratylenchus* sp., *Trichodorus* spp., *Tylenchorhynchus gadeai*, *Tylenchorhynchus* sp., *Tylenchus* spp., *Xiphinema americanum*, *X. brevicolle*, *X. index*, *X. ingens*, *X. italiae*, *X. mediterraneum* y *Xiphinema* spp.

Se señala que los problemas planteados en esta provincia son en orden de importancia: I. Transmisores de virus, especialmente en frutales y viñedos. II. Formadores de nódulos, en las zonas de vega y especialmente en los cultivos de huerta e industriales. III. Nematodos formadores de «quistes» en plantas industriales. IV. Nematodos «anillados», en los cultivos de frutales. V. Nematodos ectoparásitos, en cultivos de frutales y huerta, donde se encuentran ampliamente distribuidos. VI. Nematodos endoparásitos, son muy poco frecuentes, indicándose la necesidad de revisar los métodos de extracción utilizados.

Por último se señala el interés de revisar el material utilizado en los trabajos anteriores, así como la necesidad de profundizar en cada uno de los problemas que plantean los nematodos en esta provincia.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) ARIAS, M. (1975). Las especies de *Xiphinema* (Nematoda: Dorylaimida) en los cultivos de frutales. Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. (Biol.), 72, 153-163.
- (2) ARIAS, M. (1975). Nuevas aportaciones al conocimiento del género *Xiphinema* (Nematoda) y su distribución en los suelos españoles. Anal. Edaf. Agrob., 34, 183-198.
- (3) ARIAS, M. (1977). Distribución del género *Longidorus* (Micolotzky, 1922), Filipjev, 1934 (Nematoda: Dorylaimida) en España. Nematol. medit., 5, 45-50.
- (4) ARIAS, M., JIMÉNEZ-MILLÁN, F. y LÓPEZ-PEDREGAL, J. M.^a (1965). Tres nuevas especies de nematodos posibles fitoparásitos en suelos españoles. Publ. Inst. Biol. Apl., 38, 47-58.
- (5) ARIAS, M. and NAVACERRADA, G. (1973). Geographical distribution of *Xiphinema Cobb*, in Spanish vineyards. Nematol. medit., 1, 28-35.
- (6) BRAUN, A. L. and LOOF, P. A. A. (1966). *Pratylenchoides laticauda* n. sp., a new endoparasitic phytonematode. Neth. J. Pl. Path., 72, 241-245.
- (7) CAÑIZO, J. DEL y RODRÍGUEZ-SARDIÑA, J. (1926). Sobre los nematodos parásitos de la remolacha. Bol. Pat. Veg. Ent. Agr., 1, 48-52.
- (8) DOMÍNGUEZ GARCÍA-TEJERO, F. (1943). Plagas de la remolacha. Publicaciones del Ministerio de Agricultura. Madrid, 84, 118.
- (9) DOMÍNGUEZ GARCÍA-TEJERO, F. (1951). Distribución en España de las plagas de la remolacha. Bol. Pat. Veg. Ent. Agric., 18, 181-204.
- (10) GADEA, E. (1952). Contribución al estudio de los nematodos libres terrestres y dulceacuícolas de la fauna española. Edit. Inst. Biología Aplicada, Barcelona, serie Zoológica, 1, 213.
- (11) JIMÉNEZ-MILLÁN, F., ARIAS, M., BELLO, A. y LÓPEZ-PEDREGAL, J. M. (1965). Catálogo de los nematodos fitoparásitos y perirradiculares encontrados en España. Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. (Biol.), 63, 47-104.
- (12) JIMÉNEZ-MILLÁN, F., BELLO, A., ARIAS, M. y LÓPEZ-PEDREGAL, J. M.^a (1964). Morfología de las especies del género *Meloidogyne* (Nematoda) de varios focos de infección de cultivos españoles. Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. (Biol.), 62, 143-153.
- (13) NAVACERRADA, G. (1977). Nematodos asociados a los viñedos españoles. Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. (Biol.), 73, 47-56.
- (14) ROMERO, M.^a D. (1971). *Heterodera mani*, nematodo nuevo para la fauna española. Bol. R. Soc. Espa. Hist. Nat. (Biol.), 62, 303-305.
- (15) ROMERO, M.^a D., BELLO, A. and ARIAS, M. (1973). The genus *Heterodera* Schmidt in Spain. Nematol. medit., 1, 83-91.

Recibido para publicación: 23-V-78

NUTRICION Y FISILOGIA VEGETAL

EFFECTOS DEL REGIMEN HIDRICO Y DE DISTINTOS NIVELES DE FERTILIDAD SOBRE EL RENDIMIENTO, CALIDAD Y TAMAÑO DEL TOMATE DE INVIERNO

V. EFECTOS DEL REGIMEN HIDRICO Y DEL PK, SOBRE LA CALIDAD DEL TOMATE (***)

p o r

V. HERNANDO (*) y B. ORIHUEL GASQUE (**)

SUMMARY

THE EFFECTS OF WATERING REGIME AND PK ON THE QUALITY OF TOMATO

On Moneymaker variety a $2^2 \times 4$ field experiment with 4 repetitions was carried out. The 16 treatments included two levels — K_0 , K_1 — for potassium: —0 and 5.500 kg/ha KCl— and two for phosphorus: «medium» and «high», in factorial combination with four watering régimes: «very wet» (R_0), «wet» (R_1), «dry» (R_2) and «very dry» (R_3).

The fruits were graded into three commercial-quality categories: «Extra», «first», «second» and also in another without commercial value: «third». The % by weight of «hollow» fruit was also determined.

The main effects of irrigation régime and K on tomato quality were always highly significant ($P = 0,001$), being the first, comparatively, more important. Potassium and dry régimes markedly increased the overall percentages by weight of («Extra» + «I») fruit, on the early and late yield, and decreased the % of «hollow» tomato.

The response to potassium was minimum at R_0 and greatest at R_3 being always significant the K \times Irrigation interactions. Particular adverse to fruit quality was the combination of K_0 level with «very wet» régime, obtaining the best quality with K_1 and «very dry» régime. On late yield the % of («Extra» + «I») was in $K_1 R_3$ 16,3 times greater than in $K_0 R_0$.

On late yield the main effect of P on the % of («Extra» + «I») fruit was significant ($P = 0,01$) and the interactions P \times Irrigation and P \times K were moderately significant ($P = 0,05$).

Se ha demostrado repetidamente el efecto muy favorable que sobre la calidad del tomate ejercen tanto el K (36) (37) (24) (35) (39) (38) (3) (22) como los regímenes secos de riego (31) (1) (13) (21) (19). También se

(*) Departamento de Fertilidad de Suelos y Nutrición Vegetal. Instituto de Edafología y Biología Vegetal, Madrid.

(**) C/Germanías, 16, Gandía (Valencia).

(***) Este trabajo es parte de la tesis doctoral del segundo autor.

sabe que la presencia de cierto grado de salinidad en el suelo, o en el agua del riego, mejora la calidad (6) (4) (8) (30) (28) (11) produciendo sobre la misma efectos análogos a los de los regímenes secos (13).

Asimismo se conoce la menor importancia del P sobre la calidad cuando se le compara con el N K (26), no existiendo resultados muy consistentes en relación con el efecto de dosis altas del mismo sobre dicha calidad.

Separadamente pues, se conocían bien tanto los efectos del régimen de riego, como del K, sobre la calidad; sin embargo, hasta ahora, no se había prestado atención al estudio conjunto de ambos factores, lo que constituye el objeto principal del presente trabajo. Algunos de estos resultados figuraban ya en una publicación anterior (12).

MATERIALES Y MÉTODOS

En la primera parte de este trabajo (14) ya dimos la disposición experimental, el detalle de los tratamientos, los análisis del agua de riego y del suelo, antes y después del experimento, el vigor y crecimiento de las plantas, los rendimientos obtenidos, etc.

Se utilizó la variedad Moneymaker Stonor. Los tratamientos consistían en cuatro niveles de riego: «muy húmedo» (R_0), «húmedo» (R_1), «seco» (R_2) y «muy seco» (R_3) que, respectivamente, correspondían a riegos dados cada 5, 10, 15 y 20 días, en combinación factorial con dos de K (K_0 , K_1): 0 y 5.500 kg/ha de ClK y dos de P (P_1 , P_2): 2.250 y 3.750 kg/ha de superfosfato de cal (18 por 100), o sea, dieciséis tratamientos y cuatro repeticiones sobre una superficie experimental de unos 2.200 m².

Los frutos de cada recolección se clasificaron manualmente*, de acuerdo con las normas de calidad (20), en las siguientes categorías:

Extra

Tomate con dureza y color óptimos. Brillo y forma perfectos.

Primera (I)

Buena dureza, forma, color y brillo, aunque menos marcados que en el grupo «Extra». Dado el carácter del experimento, tanto en este grupo como en el anterior, se clasificaron los tomates de las características descritas, aunque presentaran alguna grieta de crecimiento.

Segunda (II)

Tomate con menos color, algo blando y deformado; pero todavía con valor comercial y exportable.

* La clasificación manual la hizo personal obrero que, habitualmente, realizaba dicho trabajo en los almacenes de confección del tomate de invierno.

*Tercera (III) **

Tomate «hueco» —zocate—, blando, muy deformado, de mal color al madurar y no exportable. Aquí se incluía también, en general, el tamaño P, aunque si su calidad era muy buena, dado el carácter del experimento, éste se clasificaba como «primera», independientemente de su tamaño.

El fruto así clasificado se pesaba, calculando los porcentajes de cada categoría y tomando éstos como índice de calidad.

Dado el descenso en la calidad que, a partir de noviembre, se observa en el cultivo comercial del tomate de invierno, se hizo, separadamente, un estudio de la misma en el rendimiento temprano —hasta el 1/XI— y en el tardío, desde dicha fecha hasta el final del experimento.

Como otro índice de calidad, siguiendo a Winsor (35) (34), se tomó el porcentaje en peso del tomate «pintón» que flotaba en el agua ($d < 1$) —fruto «hueco»—, puesto que la densidad del tomate «lleno», en esta fase de la maduración, es ligeramente superior a la unidad (34). La calidad por flotación sólo se determinó los días 6, 19, 26/X y 24/XI, cuyo valor medio se tomó como representativo de la calidad total.

Hemos de señalar que, dentro del fruto clasificado como «hueco», la intensidad de las cavidades locales, la deformación del fruto y la mala coloración al madurar, aumentaban mucho a medida que desde el régimen «muy seco» nos desplazábamos hasta el «muy húmedo». Las diferencias reales de calidad entre los tratamientos fueron pues mayores que las que reflejan los % de tomate «hueco».

No se clasificaron los desórdenes de maduración dado que, en el tomate de invierno de Alicante, normalmente, éstos no se presentan sino muy raramente.

R E S U L T A D O S

En la tabla I figuran los valores medios de los correspondientes % en peso, obtenidos para cada tratamiento, por clasificación manual del fruto en categorías, para las calidades temprana y tardía. Y en la tabla II los valores de las F calculadas y su grado de significación, después de aplicar a los datos originales el análisis de la variancia.

La tabla III es el resultado de componer las cuatro determinaciones de calidad por flotación en agua, citadas. En la tabla IV presentamos los valores de las F calculadas, como resultado de aplicar el correspondiente análisis de la variancia a los datos originales.

En tablas resumen, de doble entrada, presentamos los efectos principales, los simples y las interacciones, junto con las diferencias mínimas entre pares de medias necesarias para alcanzar la significación, en las tres valoraciones de calidad (tablas V, VI y VII).

* Esta es una categoría que aunque no figura en las normas, hubo que introducir dada su importancia desde el punto de vista experimental.

TABLA I

Porcentaje en peso del fruto de la calidad («Extra» + «I») en el total recolectado hasta el 1/XI (rendimiento temprano) y desde dicha fecha hasta el final del experimento (rendimiento tardío) (Promedio de los cuatro bloques)

		R ₀		R ₁		R ₂		R ₃	
		Calid. tempr. ^a	Calid. tardía	Calid. tempr. ^a	Calid. tardía	Calid. tempr. ^a	Calid. tardía	Calid. tempr. ^a	Calid. tardía
K ₀	P ₁	6,72	1,95	11,45	3,90	23,92	4,20	32,10	8,80
	P ₂	5,25	1,47	11,47	2,52	25,30	4,95	30,70	12,17
K ₁	P ₁	11,35	4,10	18,12	5,22	32,45	8,57	43,65	20,75
	P ₂	8,87	3,07	19,20	8,35	38,80	13,90	54,77	35,27

TABLA II

Valores calculados de F para los distintos efectos y grados de significación* de los mismos, en el % de («Extra» + «I») (tabla I)

Causas de variación	F calculada ¹	F. calculada ²
Bloques	< 1	< 1
Tratamientos	29,98***	17,68***
<i>Efectos principales</i>		
Riego (R).....	121,46***	49,92***
Potasio (K).....	57,72***	50,69***
Fósforo (P).....	1,91	8,47**
<i>Interacciones de 1.º orden</i>		
R × K.....	4,98**	11,40***
R × P.....	1,33	4,15*
K × P.....	2,54	5,58*
<i>Interacciones de 2.º orden</i>		
R × K × P.....	1,42	1,33

* Significativo al nivel de P = 0,05.

** Significativo al nivel de P = 0,01.

*** Significativo al nivel de P = 0,001.

¹ Calidad en el rendimiento temprano.

² Calidad en el rendimiento tardío.

TABLA III

Porcentajes medios en peso de fruto «hueco» en los diferentes tratamientos

	R ₀	R ₁	R ₂	R ₃	
K ₀ {	P ₁	89,07	81,60	67,37	49,27
	P ₂	84,77	84,42	75,02	40,12
K ₁ {	P ₁	80,70	66,40	62,07	31,55
	P ₂	82,62	63,32	58,32	14,92

TABLA IV

Valores calculados de F para los distintos efectos y grados de significación* de los mismos, en el porcentaje de fruto «hueco» (tabla III)

Causas de variación	F. calculada
Bloques	1,26
Tratamientos	25,22***
<i>Efectos principales</i>	
Riego (R).....	104,46***
Potasio (K).....	43,22***
Fósforo (P).....	2,07
<i>Interacciones 1.º orden</i>	
R × K.....	2,92*
R × P.....	2,47
K × P.....	1,18
<i>Interacciones 2.º orden</i>	
R × K × P.....	< 1

* Significativo al nivel de P = 0,05.

** Significativo al nivel de P = 0,01.

*** Significativo al nivel de P = 0,001.

1. Efectos del riego

El efecto principal del régimen de riego sobre la calidad, en el fruto clasificado en categorías comerciales y en el % de tomate «hueco», resultó siempre muy significativo ($P = 0,001$) (tablas II y IV).

La calidad determinada por clasificación manual, tanto en el rendimiento temprano como en el tardío, y el % de tomate «lleno» — $d > 1$ —, aumentaron considerablemente al desplazarnos hacia los regímenes secos.

Al pasar desde el régimen «muy húmedo» al «muy seco», el % de

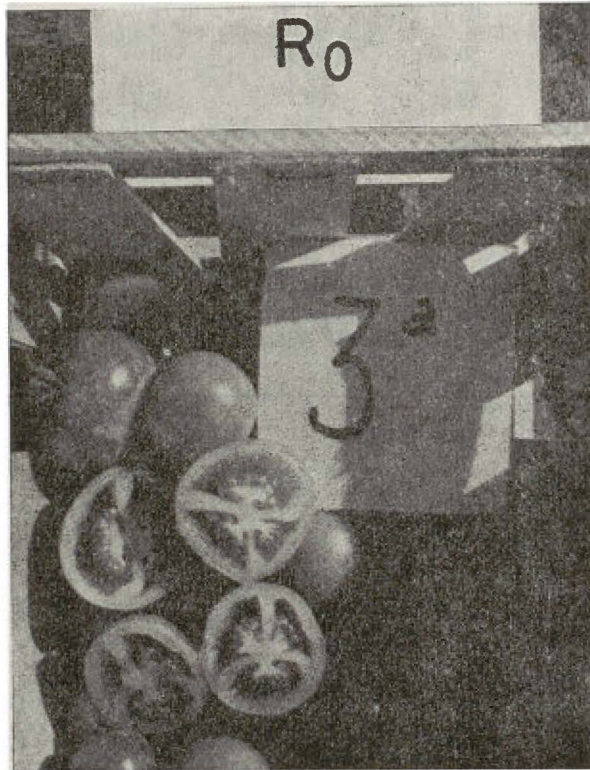


Foto 1.—Tomate muy «hueco» y deformado en el fruto clasificado como «Tercera» bajo el régimen «muy húmedo» (R_0).

fruto clasificado como («Extra» + «I») en el rendimiento temprano y en el tardío se hizo, respectivamente, 5 y 7,2 veces mayor. Y el % de fruto más denso que el agua —tomate «lleno»—, se hizo 4,2 veces mayor. Como puede observarse, al régimen «normal» de riego (12-13 días) le corresponde una calidad intermedia (fig. 1).

En la foto 1, se puede observar la fuerte intensidad de las cavidades

loculares presente, en general, en el tomate «hueco» clasificado como «Tercera», bajo el régimen «muy húmedo».

Al desplazarnos hacia los regímenes secos también creció la significación estadística de las diferencias entre las medias correspondientes a R_0 , R_1 , R_2 y R_3 : R_3-R_0 ; R_3-R_1 , etc., las cuales, en casi todas las combinaciones, resultaron muy significativas en todas las valoraciones (tablas V, VI y VII).

En el fruto recolectado a partir del 1/XI se produjo un notable descenso de calidad (fig. 1).

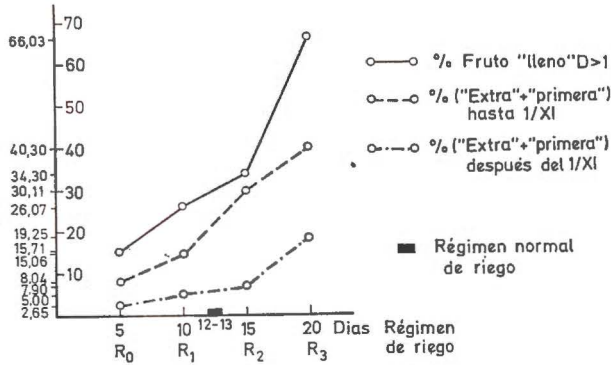


Fig. 1.—Efecto del régimen de riego sobre las calidades total, temprana y tardía.

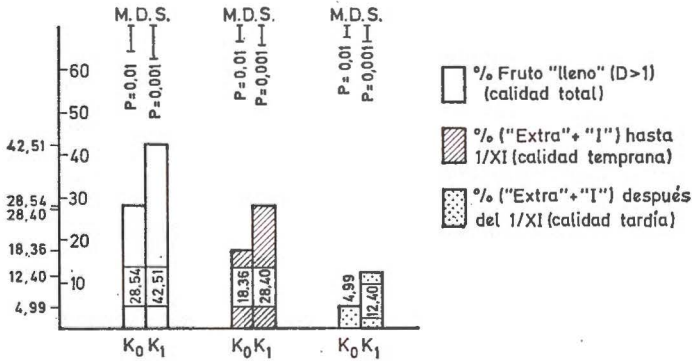


Fig. 2.—Efecto principal del K sobre las calidades total, temprana y tardía.

2. Efectos del K e Interacción $K \times$ Riego

En las tres valoraciones el efecto principal del K aumentando la calidad del fruto resultó muy significativo ($\bar{P} = 0,001$) (fig. 2); pero el efecto total del régimen de riego sobre la calidad fue, en general, mucho

TABLA V

Efectos del régimen de riego, del PK e interacciones sobre el % en peso del fruto de la categoría («Extra» + «I») recolectado hasta 1/XI (calidad temprana)

Niveles	R ₀	R ₁	R ₂	R ₃	D. M. S.*	K Medias	D. M. S.	P ₁	P ₂	D. M. S.
K ₀	5,98	11,46	24,61	31,40	± 5,34 ± 7,11	18,36	± 2,67 ± 3,55	18,55	18,18	± 3,77 ± 5,02
K ₁	10,11	18,66	35,62	49,21	± 9,33	28,40	± 4,66	26,39	30,41	± 6,59
MEDIAS	8,04	15,06	30,11	40,30	± 3,77 ± 5,02 ± 6,59			22,47	24,29	± 2,67 ± 3,55 ± 4,66
P ₁	9,04	14,79	28,19	37,87	± 5,34 ± 7,11					
P ₂	7,06	15,37	32,05	42,74	± 9,33					

* D. M. S. = Diferencias mínimas necesarias para la significación, entre pares de medias, en los respectivos niveles de probabilidad: P = 0,05; P = 0,01; P = 0,001.

T A B L A V I

Efectos del régimen de riego, del PK e interacciones sobre el porcentaje de («Extra» + «I»), en el fruto recolectado desde el 1/XI, hasta el final de experimento (calidad tardía)

Niveles	R ₀	R ₁	R ₂	R ₃	D. M. S.*	K Medias	D. M. S.	P ₁	P ₂	D. M. S.
K ₀	1,71	3,21	4,57	10,49	± 4,20 ± 5,53	4,99	± 2,10 ± 2,80	4,71	5,28	± 2,97 ± 3,96
K ₁	3,59	6,79	11,23	28,01	± 7,35	12,40	± 3,67	9,66	15,15	± 5,19
MEDIAS	2,65	5,00	7,90	19,25	± 2,97 ± 3,96 ± 5,19			7,18	10,21	± 2,10 ± 2,80 ± 3,67
P ₁	3,02	4,56	6,38	14,77	± 4,20 ± 5,53					
P ₂	2,27	5,44	9,42	23,73	± 7,35					

* D. M. S. = Diferencias mínimas necesarias para la significación, entre pares de medias, en los respectivos niveles de probabilidad: P = 0,05; P = 0,01; P = 0,001.

TABLA VII

Efectos del riego, del PK e interacciones sobre el porcentaje en peso del tomate pintón, menos denso que el agua (tomate ahueco)

Niveles	R ₀	R ₁	R ₂	R ₃	D. M. S.*	K Medias	D. M. S.	P ₁	P ₂	D. M. S.
K ₀	86,92	83,01	71,20	44,70	± 8,99	71,46	± 4,48	71,83	71,08	± 6,34
					± 11,97		± 5,97			± 8,44
K ₁	81,66	64,86	60,20	23,24	± 15,71	57,49	± 7,84	60,18	54,79	± 11,08
					± 6,34					± 4,48
MEDIAS	84,29	73,93	65,70	33,97	± 8,44			66,00	62,93	± 5,97
					± 11,08					± 7,84
P ₁	84,89	74,00	64,72	40,41	± 8,99					
					± 11,97					
P ₂	83,70	73,87	66,67	27,52	± 15,71					

* Diferencias mínimas necesarias para la significación, entre pares de medias, en los respectivos niveles de probabilidad:
P = 0,05; P = 0,01; P = 0,001.

más importante que el del K, según se desprende al comparar las figuras 1 y 2.

La interacción K × Riego resultó significativa en las tres valoraciones (tablas II y IV). Los efectos simples del K aumentan muy rápidamente, ganando en significación las diferencias K_1-K_0 , a medida que nos desplazamos hacia el régimen «muy seco» (figs. 3 y 4) (tablas V, VI y VII).

La calidad óptima resultó al combinar el régimen «muy seco» con el nivel alto de K: R_3K_1 . Por el contrario, la calidad peor se obtuvo

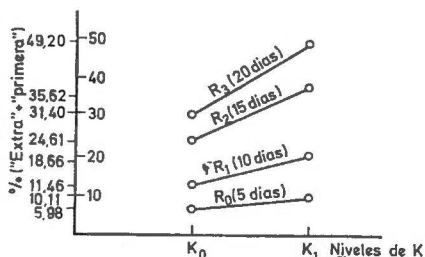


Fig. 3.—La interacción K × Riego en la «calidad temprana» (hasta 1/XI).

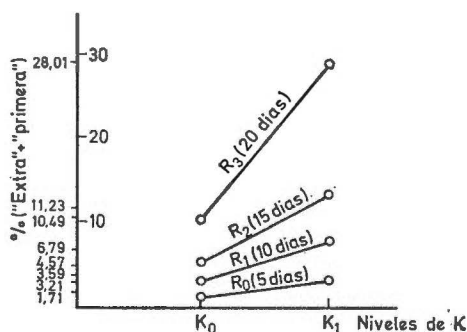


Fig. 4.—La interacción K × Riego en la «calidad tardía» (después del 1/XI).

cuando en ausencia de K se usó el régimen «muy húmedo»: R_0K_0 (figuras 3 y 4). En efecto, antes del 1/XI, en R_3K_1 , el % de («Extra» + «I») fue unas ocho veces mayor que en R_0K_0 y después del 1/XI, dicho % fue 16,3 veces mayor. El % de fruto «lleno» — $d > 1$ — fue 5,8 veces mayor en R_3K_1 que en R_0K_0 .

La frecuencia de riego ya hemos dicho que fue el factor más importante para la calidad, hasta el punto que bajo los regímenes «muy seco» y «muy húmedo», dominó sobre el efecto del K. En efecto, sin potasio y bajo el régimen «muy seco» se obtuvo, en general, fruto de buena calidad; pero con nivel alto de K y bajo régimen «muy húmedo» la calidad del fruto fue muy inferior (figs. 3 y 4).

Efectos del P

En las tablas V, VI y VII resumimos los efectos del P.

En el rendimiento temprano, aunque la calidad aumentó con el nivel de P, no alcanzaron significación ni el efecto principal del P, ni sus interacciones. Aquí el efecto favorable del P sobre la calidad sólo resultó moderadamente significativo ($P = 0,05$) en presencia de K (K_1).

En el rendimiento tardío el efecto principal del P sobre la calidad resultó significativo ($P = 0,01$). Bajo el nivel «alto» de P (P_2) aumentó el % de fruto clasificado como («Extra» + «I»). También resultaron moderadamente significativas ($P = 0,05$) las interacciones $P \times$ Riego y la $P \times K$. En la interacción $P \times$ Riego la respuesta al nivel «alto» de P crecía mucho al desplazarnos hacia el régimen «muy seco» y en la $P \times K$ dicha respuesta era mucho mayor en K_1 que en K_0 . El efecto simple del nivel «alto» de P (P_2) sobre la calidad resultó aquí muy significativo ($P = 0,001$) tanto bajo el régimen «muy seco» (R_3) como en presencia de K (K_1).

El efecto simple del P disminuyendo el % de tomate «hueco» resultó también significativo ($P = 0,01$) bajo el régimen «muy seco» (R_3).

Tanto en la calidad del rendimiento temprano, como sobre el % de fruto «hueco», aunque se observó cierta tendencia, respectivamente, hacia las interacciones $P \times K$ y $P \times$ Riego, éstas no alcanzaron la significación.

DISCUSIÓN

Efectos del P

En el rendimiento tardío la respuesta al P se produjo principalmente, bajo el régimen «muy seco» y en presencia de K.

Esta influencia favorable del P sobre la calidad no está de acuerdo con los resultados de algunos autores (18). Así, Winsor y Long (39), también sobre Moneymaker, encuentran una influencia negativa del P en la calidad y una interacción $K \times P$ muy significativa, aumentando mucho las diferencias de calidad debidas al P a medida que descendía el nivel de K; en nuestro caso, por el contrario, dichas diferencias no existían en K_0 y se presentaron en K_1 . Sin embargo Roorda van Eysinga (26) estudia el efecto de niveles crecientes de P, desde 0 hasta 2.000 kg/ha de superfosfato triple (43 por 100 P_2O_4), y no encuentra, prácticamente, diferencias significativas en el % en peso, de la calidad «Extra». También Winsor y Long (39) hallan que el fosfato disminuyó significativamente la incidencia del «dorso verde», mejorando la calidad. Y Woods (41), en dos de 3 estaciones, no halló la influencia negativa del P sobre la «mancha verde» del tomate.

Los resultados del análisis del suelo al final de nuestro experimento señalan que tales respuestas al P, ni en el nivel de K_1 ni bajo el régimen «muy seco», pueden atribuirse a una elevación de la salinidad. Quizás haya que relacionarlas con la mala asimilabilidad de los fosfatos, dado el carácter muy calizo del suelo. En efecto, el contenido en CO_3Ca de

la parcela experimental era de 62,2 por 100 y su pH de 8. Experimentos anteriores (11) (23), realizados sobre algunos suelos muy calizos de Alicante, ya habían revelado que con fertilización igual e inferior a 2.100 kg/ha de superfosfato de cal (18 por 100), en otoño, al disminuir la tensión de humedad del suelo y descender la temperatura ambiente, aparecían en el follaje síntomas de deficiencia fosfatada. Esto quizás explique que la influencia favorable del P se manifiesta mejor en el «rendimiento tardío» y precisamente bajo régimen «muy seco».

Bajo el régimen «muy húmedo», la influencia muy desfavorable de éste sobre la calidad, parece natural que enmascarase cualquier posible efecto favorable del P.

Interacción K × Riego

Un hecho nuevo es la significación estadística de la interacción K × Riego. Hemos visto que el efecto favorable del K sobre la calidad crece notablemente al desplazarnos hacia el régimen «muy seco». Y también sabemos (12) (14) que el efecto depresivo del K, sobre el rendimiento y el tamaño del fruto, aumentaba de forma análoga, demostrándose la existencia de la interacción K × Riego en relación con el tamaño y observándose cierta tendencia hacia dicha interacción, respecto del rendimiento. Dichos efectos del K se pueden atribuir a las variaciones que produjo en el nivel salino del suelo.

En efecto, al final del experimento, el suelo dio un pC medio calculado, extracto suelo/agua (1:2,5), de 2,87 en el nivel K_0 y de 2,68 en K_1 *. Bajo el régimen «muy húmedo» (R_0) la variación media total del pC debida al K —pC (K_0)-pC (K_1)— fue de 0,26 unidades y bajo el «muy seco» (R_s) de 0,15 unidades (12) (14).

Así como algunos autores (17) (40) (7) (29) asocian la presencia de desórdenes en la maduración a la existencia de bajas tensiones en la humedad del suelo, los aumentos en la salinidad sabemos que disminuyen tales desórdenes (4) (6) (16) y producen, sobre la calidad general del fruto y en el % de tomate «hueco» **, efectos favorables análogos a los de los regímenes secos de riego (13).

Winsor (34) (35) con niveles crecientes de K lograba una disminución en el % del tomate «hueco» y para Toowey y otros (30) un pC menor que 2,7 es ya una salinidad muy elevada en tomateras que aumenta la calidad, mientras que para Butters (4) esto ya ocurre a un pC menor que 3.

Por otra parte ya vimos (12) (14) cómo, en todos los tratamientos sometidos al mismo régimen hídrico, el vigor y la altura de las plantas era el mismo, con independencia de los niveles de PK aplicados. Dentro de cada régimen de riego este vigor común determinó un nivel general de calidad de la cosecha, el cual aumentaba en cada caso y con distinta

* Estos valores se han calculado partiendo de las conductividades del extracto de saturación y utilizando una fórmula dada por Butters (4).

** El fruto «hueco» corresponde a un tomate deformado —anguloso—, que madura falto de color —rosa pálido—. No se le clasifica entre los desórdenes de la maduración.

intensidad por efecto del K (figs. 3 y 4). Estudiemos ahora la interacción K \times Riego en los casos extremos R_0 y R_3 :

Sabemos que los efectos de la salinidad de un suelo varían con su tensión de humedad (6) y que la entrada de agua en la planta viene regulada, fundamentalmente, por dos factores: «tensión de humedad» del suelo y «presión osmótica» de la solución del suelo. La suma de ambas tensiones es a lo que Wadleigh y Ayers (32) llaman «fuerza total de humedad del suelo». «Tensión de humedad» y «presión osmótica» dependen del régimen de riego; pero la «presión osmótica» está también muy relacionada con el nivel salino del suelo.

Bajo el régimen «muy húmedo» (R_0 , 5 días), como el suelo se hallaba casi siempre cerca de su capacidad de campo, la «tensión de humedad» y la «presión osmótica» tendrían valores bajos. En tales condiciones sería pequeña la «fuerza total de humedad del suelo» y muy elevado el nivel de entrada de agua en la planta. Esto determinó una planta blanda, acuosa y muy vigorosa a la cual, independientemente del PK aplicado, correspondió la máxima velocidad de crecimiento (14). Se obtuvo pues aquí el tipo de planta más adecuado para la aparición del fruto «hueco» (2) (24) (34). El exceso de agua del régimen «muy húmedo» favorece la presencia de tomate «hueco» (10) (21) y como por un simple efecto de dilución influirá desfavorablemente en los factores que dan la calidad del fruto (13), llegando en nuestro caso dicho exceso hasta dominar claramente sobre el efecto del K. Así se explica que, bajo el citado régimen «muy húmedo», las respuestas al potasio fuesen pequeñas y sin significación, siendo la calidad muy mala, aun en K_1 , y máximos tanto el % de tomate «hueco» como el tamaño de las cavidades locales (tablas V, VI y VII, figs. 3 y 4). Bajo régimen «muy húmedo» consideramos que quizá el K ejercería, predominantemente, una acción nutritiva —efecto iónico—.

Por el contrario, bajo el régimen «muy seco» (R_3 , 20 días), la «tensión de humedad» y la «presión osmótica» tomarían valores muy elevados, siendo por tanto muy alta la «fuerza total de humedad del suelo» y escasa la entrada de agua. Esto produjo, independientemente del PK aplicado, plantas poco vigorosas, de tejidos secos y duros, siendo aquí mínima la velocidad de crecimiento (14). Aquí, como por un simple efecto de concentración, la escasez de agua, aumentó la calidad general del fruto, llegando a dominar de forma clara sobre el efecto del K, de modo que ésta fue muy buena, aun en el nivel K_0 y mínimo tanto el % de fruto «hueco» como el tamaño de las cavidades locales. Bajo el nivel K_1 , por efecto salino debido a la citada variación en el pC, el régimen «muy seco» aun ganaría en sequedad produciéndose un nuevo aumento en la calidad. Ello explica que, bajo este régimen, los efectos simples del K sobre la calidad fuesen siempre muy significativos (tablas V, VI y VII, figs. 3 y 4). Consideramos que, en este caso, es muy posible que el «efecto osmótico» del K predominase sobre su «efecto iónico».

Esta interacción puede quizá explicar ciertos resultados que aparecen en la bibliografía sobre los efectos del K, pues estando, como vemos, dichos efectos muy unidos al régimen de riego, sin embargo, en muchos experimentos no se tiene en cuenta éste.

Quizá sea por esto que aunque, en general, se admite que niveles elevados de K disminuyen los desórdenes de la maduración (41) (39)

(36) (17) ciertos autores (27) (5) (33) (9) (17) (15) no lograron relacionar, de un modo directo, las aplicaciones de potasio con la reducción en la incidencia de la «maduración manchada» del tomate, señalando la intervención de factores desconocidos asociados a la estación, citando algunos de ellos la luz.

La interacción $K \times$ Riego también puede explicar que, como ocurre con frecuencia en el cultivo del tomate de invierno de Alicante, durante septiembre y octubre lluviosos, aún utilizando niveles altos de K , en cultivos regados con agua no salina o poco salina, en noviembre, se produzca una notable disminución en la calidad de la cosecha tardía (figura 1), al presentarse el tomate «hueco». En el tomate de invierno, cuando se usa agua no salina sólo se consigue buena calidad usando niveles muy altos de K y restringiendo el riego, es decir, disminuyendo el vigor aunque, con ello, disminuya el rendimiento y el tamaño. Todo ello se da bajo condiciones de luminosidad muy elevada *, lo que unido al uso de la variedad Moneymaker, resistente al «dorso verde», quizá explique la no existencia de otros desórdenes de maduración, aunque, como ya dijimos, el tomate «hueco» siempre madura muy falto de color. El problema del fruto «hueco» no existe cuando para el cultivo se usan aguas salinas.

Consideramos que el conocimiento de la interacción $K \times$ Riego resultará aplicable a otras variedades de tomate y, en general, a otros cultivos.

RESUMEN

Sobre variedad Moneymaker se llevó a cabo un experimento de campo factorial $2^2 \times 4$ con 4 repeticiones. Se combinaron dos niveles de K —0 y 5.500 kg/ha ClK—, dos de P —«medio» y «alto»— y 4 regímenes de riego: «muy húmedo», «húmedo», «seco» y «muy seco», como resultado de aplicar el riego cada 5, 10, 15 y 20 días, respectivamente.

Los frutos se clasificaron en tres categorías comerciales: «Extra», «Primera» (I), «Segunda» (II) y en otra no comercial: «Tercera» (III). También se determinó el % en peso del tomate «hueco».

Los efectos principales del régimen de riego y del K sobre la calidad fueron siempre muy significativos ($P = 0,001$), siendo, comparativamente, más importante el efecto del riego. El K y los regímenes secos aumentaron considerablemente el % en peso de los frutos de la calidad («Extra» + «I»), en el rendimiento temprano y tardío, y disminuyeron el % de tomate «hueco».

La respuesta al K fue siempre mínima bajo régimen «muy húmedo» y máxima bajo el «muy seco», resultando siempre significativas las interacciones $K \times$ Riego. Particularmente adverso para la calidad fue el combinar la ausencia de K (K_0) con el régimen «muy húmedo» (R_0). La mejor calidad se obtuvo con el régimen «muy seco» (R_3) en presencia de K (K_1). En R_3K_1 el % de («Extra» + «I») existente en el rendimiento tardío fue 16,3 veces mayor que en R_0K_0 .

En el rendimiento tardío resultó significativo ($P = 0,01$) el efecto principal del P sobre el % en peso del fruto clasificado como («Extra» + «I») y fueron moderadamente significativas ($P = 0,05$) las interacciones $P \times$ Riego y $P \times K$.

*Departamento de Fertilidad de Suelos y Nutrición Vegetal.
Instituto de Edafología y Biología Vegetal.*

* 9,6 horas de sol/día en julio, agosto y septiembre, como media del trimestre en el trienio de 1962-64.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) ALJIBURY, F. K. and DONALD MAY. (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) ANAND, N. et MUTHUKRISHNAN, C. R. (1974). Effect du potassium sur la croissance, le rendement et la qualité de la tomate. Revue de la Potasse, Section 8.
- (4) BUTTERS, R. E. (1960). The pC value of soils and its effect on the tomato crop. J. Sci. Food Agric., 11, 202-212.
- (5) CLARKE, E. J. (1944). Studies on tomato nutrition. I, II. Journ. Dept. Agr. Eire, Vol. XLI, 1944-XLIII, 1946. resp., 53-81, 52-67.
- (6) 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.
- (7) COOPER, A. J. (1960). Rep. Glasshouse Crops Res. Inst., 86.
- (8) DOREY, REUBEN (1960). Tomato growing by prescription. Printed in Great Britain by R. Clay and Company Ltd. Bungay Suffolk.
- (9) GIGANTE, R. (1954). La maturazione a chiazzi dei frutti di pomodoro. Bol. Staz. Pat. Veg. Roma, 12, 127-136.
- (10) 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.
- (11) HERNANDO, V. y ORIHUEL, B. (1961). Campaña exportadora 1960-61. Alicante. Efecto de N-P-K, sobre el rendimiento, calidad del fruto y desarrollo de las tomateras. Experimento no publicado.
- (12) HERNANDO, V. y ORIHUEL, B. (1977). Importance of interaction potassium \times irrigation on tomato crops. Proceedings of International Seminar on Soil Environment and Fertility Management in Intensive Agriculture. Tokyo, Japan.
- (13) HERNANDO, V. y ORIHUEL, B. (1977). 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. Estudio recapitulativo. Anales de Edafología y Agrobiología, Tomo XXXVII, núms. 5-6, Madrid 1979.
- (14) HERNANDO, V. y ORIHUEL, B. (1977). 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. Anales de Edafología y Agrobiología, t. XXXVIII, núms. 3-4, Madrid 1979.
- (15) JONES, P. J. (1955). Environmental and genetic studies on the blotchy ripening disease of the tomato. M. S. Thesis, Ohio State Univ. Citado en: Woods, M. J. Potassium Symposium 1966. 313-323. Editors Herausgeber International Potash Institute, Berne (Switzerland).
- (16) KIDSON, E. B. (1958). Ann. Rep. Cawthron Inst. 1957-58. 45. Citado en: Woods, M. J. Potassium Symposium 1966. 313-323. Editors Herausgeber, International Potash Institute, Berne (Switzerland).
- (17) KIDSON, E. B. and STANTON, D. J. (1953). Cloud or vascular browning in tomatoes. I. Conditions affecting the incidence of cloud. N. Z. J. Sci. Tech. 34, 521-530. II. Some chemical characteristics of plant and soil in relation to susceptibility to cloud. N. Z. J. Sci. Tech., 35, 1-14.
- (18) KIDSON, E. B. and STANTON, D. J. (1963). «Cloud» or vascular browning in tomatoes. VI. The mineral composition of the tomato plant in relation to «cloud». N. Z. J. Agric. Res., 6, 382-393.
- (19) LEE VALLEY EXPERIMENTAL HORTICULTURE STATION. (1960). Automatic control of watering. Report. 1960-61. 40-42. Hoddesdon (Inglaterra).
- (20) MINISTERIO DE AGRICULTURA, PUBLICACIONES DEL. (1965). Normas Internacionales para frutos y productos hortícolas. Manuales Técnicos, Serie D núm 31, Madrid.

- (21) ORIHUEL, B. (1965). Campaña exportadora 1964-65 (Alicante). Efecto de tres frecuencias de riego: sobre rendimiento, vigor, tamaño y calidad del fruto. Experimento no publicado.
- (22) ORIHUEL, B. (1966). Campaña exportadora 1965-66 (Alicante). Efecto de tres niveles de ClK, ClNa y SO₄ Mg 7 H₂O, sobre la calidad del tomate Money-maker. Experimento no publicado.
- (23) ORIHUEL, B. (1962). Campaña exportadora 1961-62 (Alicante). Efecto del NP y del abonado orgánico sobre el rendimiento, calidad y desarrollo de la variedad Money-maker. Experimento no publicado.
- (24) ROORDA VAN EYSINGA, J. P. N. L. (1966). Mineral fertilization, yield and quality of vegetables. Citado en: Potassium Symposium 1966, 217-233. Editors Herausgeber, International Potash Institute, Berne (Switzerland).
- (25) ROORDA VAN EYSINGA, J. P. N. L. (1956). Bemesting van tomaten met kali. Publicaties Profestn Groenten —en Fruitteelt Glas— Naaldwijk, No. 109.
- (26) ROORDA VAN EYSINGA, J. P. N. L. (1971). Fertilization of tomatoes with phosphate. Agric. Res. Repts., 755, Centre for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen (Holanda).
- (27) SEATON, H. L. (1933). Investigations on blotchy ripening of greenhouse tomatoes. M. S. Thesis, Mich. State College. Citado en (39).
- (28) SHALHEVET, J. and YARON, B. (1973). Effect of soil and water salinity on tomato growth. Plant and Soil, 39, 285-292.
- (29) STANTON, D. J. (1958). Some factors regulating yield, quantity and physiological disorders of tomatoes. A. R. Cowthron Inst., 47-49, 1957-58.
- (30) TOOWEY, F. W. y otros. (1965). Producción Comercial de Tomates. Glasshouse Crops del N. A. A. S. Editorial Acribia, Zaragoza (España).
- (31) VITTM, M. T. and others. (1962). Raw-product quality of vine-ripened processed tomatoes influenced by irrigation, fertility level and variety. Am. Soc. Hort. Sci. Proc. Dept. of Hort. Michigan State Univ.
- (32) 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., Vol. 20, 106-132.
- (33) WHITE, H. L. (1938). Further observations of the incidence of blotchy ripening of the tomato. Ann. Appl. Biol. Vol. XXV, 544-557.
- (34) 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.
- (35) 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).
- (36) WINSOR, G. W., DAVIES, J. N. and LONG, M. I. E. (1961). Liquid feeding of glasshouse tomatoes; the effects of potassium concentration on fruit quality and yield. J. Hort. Sci., 36, 254-267 (1961).
- (37) 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 on fruit quality and yield. J. Hort. Sci., 37, 44-57.
- (38) WINSOR, G. W. and LONG, M. I. E. (1962). 3² × 2³ factorial nutritional trial with tomatoes. Glasshouse Crops Research Institute, Annual Report, 61-63.
- (39) 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.
- (40) WOODS, M. J. (1963). Tomato disorders. 2. Fruit colour in relation to shade, soil moisture tension and defoliation. Irish J. Agric. Res., 2, 2, 207.
- (41) WOODS, M. J. (1964). Colour disorders of ripening tomatoes. 3. Fruit colour in relation to nutrition. Ir. J. Agric. Res., 3, 17-27.

ESTUDIO DE LA DISTRIBUCION DINAMICA DE MICRONUTRIENTES EN PLANTAS DE GUISANTE

por

J. YAÑEZ, L. A. DEL RIO, M. LACHICA y M. GOMEZ

SUMMARY

DYNAMICS OF MICRONUTRIENT DISTRIBUTION IN PEA PLANTS

The levels of micronutrients B, Fe, Mn, Zn and Cu during growth and development of pea plants (*Pisum sativum* L., var. Lincoln) under normal nutrient conditions were determined by chemical analysis.

Throughout the plant growth there was a continuous increase in the copper concentration of roots which was accompanied by a decrease in the concentration of zinc, whereas the remaining micronutrients did not show a definitive tendency.

The highest concentrations of B, Fe, Mn, and Zn in all the growth stages corresponded to the oldest leaves while in basal shoots the maximum concentrations were found during the vegetative growth (B, Fe, Zn) or the blooming stage (Mn, Cu).

Boron concentration in leaves rised with the plant age while, under the same conditions, the other elements showed a decline in their concentrations.

INTRODUCCIÓN

El estudio de micronutrientes y de su intervención en la nutrición mineral de las plantas es de gran interés e importancia bajo diferentes aspectos: científico, económico, agrícola, etc. Los microelementos, además de otras funciones de la planta, intervienen en distintas reacciones enzimáticas y su contenido en los tejidos depende de fenómenos de antagonismo iónico en la absorción y transporte de los mismos.

La dinámica de los macronutrientes en el guisante ha sido extensamente investigada no sólo estudiando la acumulación de cationes en relación con procesos fisiológicos sino también determinando su localización en ciertos órganos de la planta (14). Estas investigaciones han permitido cuantificar la cosecha así como establecer la dinámica de los nutrientes principales a lo largo del ciclo de crecimiento. Sin embargo, la distribución dinámica de los micronutrientes en el guisante ha sido estudiada parcialmente (12), ya que sólo se ha determinado el contenido de determinados micronutrientes en relación con algunos procesos bioquímicos y fisiológicos (9) o bien su localización en ciertos órganos o estructuras subcelulares (11).

En este trabajo se estudia la distribución dinámica de los micronutrientes: B, Mn, Cu, Fe y Zn durante el crecimiento y desarrollo de la planta en condiciones normales de nutrición, con objeto de establecer la concentración de dichos elementos en distintas partes del vegetal para, en posteriores investigaciones mediante el estudio de la relación enzima-micronutriente, poder evaluar el estado nutritivo de un cultivo.

MATERIAL Y MÉTODOS

Hemos empleado en nuestras experiencias la variedad «Lincoln», muy apreciada por su precocidad y rendimiento, además de ser un material vegetal bastante empleado en ensayos bioquímicos.

El cultivo se efectuó en invernadero en las condiciones ambientales más adecuadas para dicha especie vegetal (temperaturas: diurna $26 \pm 1 \pm 2^\circ \text{C}$ y nocturna, $18 \pm 2^\circ \text{C}$; humedad relativa, 50 ± 10 por 100 y 70 ± 5 por 100, respectivamente; y fotoperíodo de 14 horas).

Las plántulas se obtuvieron por germinación de las semillas en arena de cuarzo. Tan pronto se desarrollaron los cotiledones (14 días después de la siembra), y las plántulas adquirieron el tamaño adecuado, fueron trasladadas a un sistema de cultivo (15) en medios líquidos conteniendo solución completa (tabla I) de pH 5,5.

TABLE I
Composición de la solución nutritiva
30 ionmg/l. pH 5,5, P. O. 0,71 atm.

	NO_3^-	PO_4H_2^-	$\text{SO}_4^{=}$	OH^-	Total ión-mg/l
K^+	0,8866	4,0290		0,2942	5,2098
Ca^{++}	10,4176				10,4176
Mg^{++}	0,8827		3,0241		3,9068
Total ión-mg/l	12,0869	4,0290	3,0241	0,2942	30,0000

Microelementos (en p. p. m.): Fe 5; Mn 0,5; B 0,5; Cu 0,05; Zn 0,05.

La renovación de la solución nutritiva se efectuaba cuando el pH variaba $\pm 0,5$ unidades.

La recolección de las plantas se efectuó en cuatro épocas diferentes: a los 24, 36, 48 y 60 días de haberse iniciado el cultivo en medios líquidos. La recolección efectuada a los 36 días coincidió con el inicio de la floración de la planta de guisante, y la efectuada a los 48 días, con la fructificación.

Las macetas o unidades de cultivo, conteniendo cada una 5 plántulas, se dispusieron en el invernadero según un diseño de bloques al azar con 3 repeticiones.

En el material recolectado, correspondiente a cada unidad de cultivo, se separó la raíz y el vástago. La longitud total de este último se dividió en 3 porciones: apical (A), media (M) y basal (B) y de cada grupo o porción se separaron: hojas (H) y tallos (T).

El material recolectado fue lavado, secado a 70° C, molido y analizado para determinar su contenido en los siguientes nutrientes: boro, por absorción molecular (27), y manganeso, hierro, zinc y cobre, por espectrometría de absorción atómica (19).

Se ha efectuado el análisis de la varianza de los resultados analíticos agrupados considerando las épocas de recogida, tipo de material (raíz, tallo, hoja) y su localización en la planta (apical, media, basal).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

B o r o

La edad de la planta afecta significativamente ($P = 0,01$) a la concentración de boro en hojas apicales, medias y basales como se observa en la tabla II. A medida que aumenta la edad de la planta, se observa un progresivo aumento de la concentración de boro tanto en hojas apicales como en medias y basales, llegándose a obtener los valores máximos a los 60 días. Entre estos últimos valores y la recogida anterior (48 días) existen diferencias significativas ($P = 0,05$) para las diferentes porciones de hojas. Sin embargo, para las recogidas efectuadas a los 24 y 36 días no existen diferencias significativas excepto en las hojas basales ($P = 0,05$). Si estas mismas recogidas se comparan con las efectuadas a los 48 y 60 días, se observa que la concentración de boro en las hojas apicales y medias difieren significativamente ($P = 0,05$).

Cuando se comparan las concentraciones de boro en hojas correspondientes a una misma recogida, se observa que no existen diferencias significativas entre hojas apicales y medias a los 24 días, pero para las siguientes recogidas sí son significativas ($P = 0,05$). Si se comparan hojas apicales y basales, existen diferencias significativas ($P = 0,05$) para la primera recogida y de mayor cuantía ($P = 0,001$) en las restantes recogidas.

Así pues, podemos concluir que la concentración máxima de boro en hoja corresponde a las hojas basales, de edad más avanzada, lo cual se explica por la escasa movilidad de este elemento y por la facilidad con que queda fijado en los tejidos adultos (17).

La concentración de boro en el tallo (tabla II) no varía significativamente a lo largo del cultivo; los valores máximos corresponden a la recogida efectuada en la época de crecimiento vegetativo (24 días). Dentro de cada recogida, el nivel máximo corresponde a la porción apical, no siendo éste significativo frente a las porciones media y basal.

TABLA II

Concentración de boro en la planta durante los distintos periodos de cultivo, expresado en p p. m. Cada valor es la media de 3 repeticiones

Parte de la planta	Días de cultivo				Nivel Prob.	MDS 0,05
	24	36	48	60		
H-A	31,14	33,14	45,94	53,01	0,01	8,94
H-M	41,35	46,56	57,95	68,87	0,01	9,69
H-B	50,28	69,24	74,38	92,78	0,01	16,29
Nivel Prob.	0,01	0,05	0,01	0,01		
MDS 0,05	15,64	10,30	8,25	8,58		
MDS 0,01	25,93	17,09	13,68	14,23		
MDS 0,001	48,50	31,96	25,57	26,61		
T-A	23,49	19,13	19,53	17,06	NS	
T-M	21,31	17,53	18,41	16,74	NS	
T-B	20,74	15,91	17,57	16,61	NS	
Nivel Prob.	NS	NS	NS	NS		
Raíz	23,15	21,63	32,64	24,25	0,01	3,46

La disminución progresiva de la concentración de boro en el tallo con la edad de la planta, puede ser debida a la distribución de boro entre tallos y hojas. Es un hecho conocido que, a medida que crece el período de cultivo, la proporción de este elemento en las hojas aumenta, mientras que el tallo disminuye (10).

En la raíz la concentración de boro no manifiesta una tendencia definida, lo cual confirma los resultados obtenidos por otros investigadores (6), aunque aumenta significativamente ($P = 0,01$) en la recogida efectuada en la época de fructificación (48 días). Este hecho se explica porque el boro acumulado en la raíz es transportado preferentemente a las hojas (26) como lo manifiesta el aumento significativo que experimentan las hojas basales de la última recogida.

Hierro

Si se compara la concentración de hierro en hojas apicales, medias y basales, a lo largo del período de cultivo (tabla III), dicha concentración varía muy significativamente ($P = 0,001$) para las hojas apicales y medias, siendo menor la variación ($P = 0,05$) para las hojas basales. La concentración máxima de hierro en los tres tipos de hojas

corresponde a la recogida más precoz (24 días) y si estos resultados se comparan con los conseguidos en una recogida posterior (36 días), entonces se obtienen diferencias altamente significativas ($P = 0,001$) para las hojas apicales, siendo menor la significación ($P = 0,01$) para las hojas medias y basales.

TABLA III

Concentración de Hierro en las distintas partes de la planta durante el período de cultivo, expresado en p. p. m. Cada valor es la media de 3 repeticiones

	Días de cultivo				Nivel prob.	M. D. S.		
	24	36	48	60		0,05	0,01	0,001
H-A	149,96	99,95	116,39	60,01	0,001	9,89	15,81	26,88
H-M	148,72	106,27	107,56	84,13	0,001	15,01	23,54	40,05
H-B	167,27	125,81	144,78	139,68	0,05	27,06	40,44	72,19
Nivel prob.	NS	0,05	0,05	0,001				
MDS 0,05		16,81	18,94	6,51				
MDS 0,01		27,87	31,41	10,79				
MDS 0,001		52,12	58,74	20,18				
T-A	75,48	49,99	52,33	25,18	0,001	5,93	9,30	15,83
T-M	61,21	31,49	52,19	23,51	0,05	20,09	31,51	53,61
T-B	114,13	45,03	36,37	31,92	0,001	11,93	18,72	31,84
Nivel prob.	0,01	0,05	NS	0,01				
MDS 0,05	14,09	12,92		2,97				
MDS 0,01	24,04	21,43		4,93				
MDS 0,001	44,96	40,08		9,21				
Raíz	310,81	829,85	608,79	725,46	0,01	177,01	277,59	472,2

De todas las épocas estudiadas, el nivel más elevado de hierro corresponde a las hojas basales. Entre los contenidos de los tres tipos de hojas no existen diferencias significativas en la 1.ª recogida efectuada, mientras que para las restantes recogidas los contenidos en hojas basales al ser comparados con los correspondientes a hojas medias y apicales difieren con mayor o menor significación ($P = 0,01$ y $0,05$).

El hecho de que en todas las etapas del cultivo las hojas más viejas contengan una mayor cantidad de hierro, lo cual coincide con los resultados obtenidos (8) para otro cultivo, indica que el hierro no es transferido de unas a otras, por lo que es imprescindible un aporte continuo de este elemento para el desarrollo normal de la planta.

La concentración de hierro en los tallos basales y apicales varía muy significativamente ($P = 0,001$) a lo largo de las diferentes recogidas; para los tallos medios, que muestran los niveles más bajos de hierro, esta variación es de menor significación ($P = 0,05$). Las concentraciones mayores se manifiestan en la recogida más precoz (24 días) y después disminuye a muy bajos niveles, resultados similares a los conseguidos se obtuvieron (24) para otras especies vegetales. Dentro de cada

recogida, el valor más bajo corresponde al tallo medio. En la 1.^a recogida, la concentración de hierro en el tallo medio difiere significativamente de la apical ($P = 0,05$) y basal ($P = 0,001$); para la 2.^a recogida, estas diferencias son de menor significación ($P = 0,05$); en la 3.^a recogida no existen diferencias significativas y en la última recogida sólo es significativa ($P = 0,01$) la diferencia entre tallo medio y basal.

El valor máximo de la concentración de hierro en hojas y tallos en la etapa de crecimiento vegetativo (1.^a recogida) se puede explicar por la importante función metabólica del hierro en el organismo vegetal y que determina que, en aquellas partes de la planta con un metabolismo muy activo, las necesidades de este elemento sean mayores.

De todas las partes de la planta estudiadas, la raíz es la que presenta unos contenidos más altos de hierro. Estos resultados coinciden con los estudios bioquímicos realizados en esta especie vegetal (21) que muestran una máxima actividad del enzima peroxidasa en raíces en comparación con tallos y hojas. Este enzima contiene, como grupo prostético, hierro en forma hemínica.

La concentración de hierro en la raíz varía significativamente ($P = 0,01$) a lo largo del período de crecimiento y desarrollo de la planta, experimentando sucesivas alternancias como consecuencia de la absorción y transporte del elemento. El valor máximo corresponde a la recogida efectuada en floración (36 días) con diferencias significativas respecto a las restantes determinaciones.

Por tanto, el contenido relativo de hierro en las diferentes partes de la planta depende no sólo del aporte de este elemento y de las condiciones que modifican su absorción (4) sino también de la cantidad de hierro absorbida y transportada al vástago (22).

Manganeso

En las hojas apicales y medias la concentración de manganeso varía significativamente ($P = 0,01$) durante el período de cultivo (tabla IV); la variación en las hojas basales es de menor significación ($P = 0,05$). Los valores mayores en hojas medias y basales corresponden a la época de crecimiento vegetativo, no experimentando éstos una variación significativa hasta después de iniciarse la floración y así a los 60 días ya se obtienen variaciones significativas ($P = 0,01$). En hojas apicales, la concentración máxima coincide con el inicio de la floración, variando significativamente ($P = 0,05$) en las restantes recogidas.

Al comparar entre sí las concentraciones de manganeso, correspondientes a hojas apicales, medias y basales, de cada una de las etapas de cultivo estudiadas, se advierte que, en general, las concentraciones en hojas basales presentan diferencias altamente significativas ($P = 0,001$) frente a las existentes en hojas medias y apicales. Resultados similares fueron encontrados (23) para otras especies vegetales.

La concentración de manganeso en tallos apicales, medios y basales varía significativamente ($P = 0,05$) durante el crecimiento y desarrollo de la planta. El mayor nivel de manganeso en cada recogida efectuada, corresponde a los tallos basales, siendo sus variaciones, frente a tallos medios y apicales, muy significativas.

TABLA IV

Concentración de Manganeso en las distintas partes de la planta durante el periodo de cultivo, expresado en p. p. m. Cada valor es la media de 3 repeticiones

	Días de cultivo				Nivel prob.	M. D. S.		
	24	36	48	60		0,05	0,01	0,001
H-A	31,58	43,90	38,14	34,20	0,01	4,90	7,69	13,09
H-M	83,66	79,15	61,99	42,48	0,01	18,18	28,51	48,50
H-B	156,92	143,99	138,50	115,07	0,05	28,40	44,54	75,77
Nivel prob.	0,01	0,01	0,01	0,01				
MDS 0,05	17,30	21,51	4,19	12,95				
MDS 0,01	28,68	35,68	6,95	21,47				
MDS 0,001	53,64	62,72	13,00	40,16				
T-A	18,05	22,19	14,07	16,21	0,05	5,06	7,93	13,49
T-M	21,81	23,95	16,29	13,90	0,05	6,20	10,87	19,89
T-B	29,34	32,28	24,10	19,54	0,05	7,31	11,46	19,49
Nivel prob.	0,05	0,001	0,01	0,05				
MDS 0,05	5,92	2,52	3,45	3,33				
MDS 0,01	9,82	4,19	5,72	5,52				
MDS 0,001	18,35	7,83	10,71	10,33				
Raíz	1108,23	1056,39	1103,13	951,10	NS			

El hecho de que solamente en la recogida efectuada al iniciarse la floración (36 días) la mayor concentración de manganeso se manifieste en hojas apicales y tallos (apicales, medios, basales), es consecuencia de la etapa fisiológica de la planta, ya que ha sido comprobada una cierta movilidad del manganeso hasta los tejidos meristemáticos (25) y de ahí, de nuevo, a las raíces (3).

La concentración de manganeso en raíz no varía significativamente a lo largo del cultivo y presenta una relativa estabilización debido a que el manganeso absorbido parece ser que se acumula en la raíz y desde allí es transportado a los tallos, llegando con facilidad a las hojas.

Cinc

Las concentraciones de cinc en hojas apicales, medias y basales varían, a lo largo del cultivo (tabla V), con diferente nivel de significación ($P = 0,001$; $0,01$ y $0,1$, respectivamente). Los valores máximos corresponden a la época de crecimiento vegetativo (24 días), existiendo una progresiva disminución a medida que aumenta la edad de la planta, resultados que coinciden con los obtenidos por Huguet (13), pero sin que estas disminuciones sean significativas ($P = 0,01$) hasta alcanzar un desarrollo avanzado (48 días).

TABLA V

Concentración de cinc en las distintas partes de la planta durante el período de cultivo, expresado en p. p. m. Cada valor es la media de 3 repeticiones

	Días de cultivo				Nivel prob.	M. D. S.		
	24	36	48	60		0,05	0,01	0,001
H-A	51,21	48,89	41,47	12,73	0,001	4,86	7,63	12,98
H-M	57,19	44,47	37,67	15,85	0,01	13,06	20,48	34,84
H-B	76,04	79,10	74,19	42,86	0,1	29,60	46,43	78,98
Nivel prob.	0,001	0,05	0,05	0,001				
MDS 0,05	3,50	18,14	20,71	6,63				
MDS 0,01	5,80	30,09	30,32	10,99				
MDS 0,001	10,85	56,28	63,54	20,55				
T-A	39,45	37,31	31,78	8,96	0,001	6,10	9,57	16,28
T-M	51,15	33,84	29,30	9,79	0,001	10,10	15,84	26,95
T-B	100,38	66,81	69,97	28,01	0,01	23,82	37,35	63,54
Nivel prob.	0,01	0,01	0,01	0,001				
MDS 0,05	21,21	13,35	11,85	3,35				
MDS 0,01	35,18	22,14	19,66	5,57				
MDS 0,001	65,80	41,40	36,77	10,41				
Raíz	93,99	90,95	85,15	57,49	0,05	23,07	36,17	61,54

En todas las recogidas efectuadas, el mayor valor corresponde a las hojas basales corroborando los resultados conseguidos por Bergh (1) y con diferencias significativas ($P = 0,01$) respecto a los obtenidos en hojas medias y apicales.

En los tallos apicales, medios y basales, la concentración de cinc varía significativamente ($P = 0,001$ y $P = 0,01$) en las distintas recogidas efectuadas. Estas variaciones tienen mayor significación a medida que aumenta la edad de la planta, excepto en los tallos apicales de la 1.^a y 2.^a recogidas, cuyas diferencias no llegan a ser significativas.

Al considerar aisladamente cada etapa de cultivo estudiada, se advierte que el valor más elevado corresponde a los tallos basales con diferencias muy significativas ($P = 0,01$) respecto al de los tallos medios y apicales. Este hecho se explica en función de la distinta movilidad del cinc (24), la cual, a su vez, está condicionada por el nivel de dicho elemento en la planta (20).

La concentración de cinc en la raíz también varía significativamente ($P = 0,05$) durante el período de cultivo.

Cobre

La concentración de cobre en hojas apicales no varía significativamente durante el cultivo, al contrario de lo que sucede en las hojas medias y basales ($P = 0,01$). Los valores mayores se alcanzan al inicio

de la floración, hecho ya puesto de manifiesto (5, 7) y obteniéndose diferencias de distinta significación frente a las restantes recogidas. Aunque dentro de cada recogida los valores más elevados corresponden a hojas basales, sin embargo, las diferencias que se obtienen frente a hojas medias y apicales no son significativas.

TABLA VI

Concentración de cobre en las distintas partes de la planta durante el período de cultivo, expresado en p. p. m. Cada valor es la media de 3 repeticiones

	Días de cultivo				Nivel prob.	M. D. S.		
	24	36	48	60		0,05	0,01	0,001
H-A	6,94	6,99	5,91	2,60	NS			
H-M	7,78	7,78	3,69	2,74	0,01	2,14	3,36	5,71
H-B	8,07	8,74	4,53	3,74	0,01	1,65	2,58	4,40
Nivel prob.	0,05	NS	0,1	NS				
MDS 0,05	0,88		1,86					
MDS 0,01	1,46		3,08					
MDS 0,001	2,74		5,75					
T-A	2,40	3,15	2,23	2,63	NS			
T-M	1,24	3,95	2,49	1,70	NS			
T-B	2,74	4,72	3,04	1,40	NS			
Nivel prob.	NS		NS	NS				
Raíz	27,47	33,38	53,32	92,57	0,001	18,72	29,36	49,94

El mayor nivel de cobre en hojas apicales en fructificación (48 días) coincide con los resultados obtenidos por Beyers (2) y es consecuencia de que el cobre puede ser movilizado muy rápidamente desde las hojas viejas a las jóvenes, estando este transporte fuertemente relacionado con la posición relativa del cobre en la planta (16).

En los tallos apicales, medios y basales, la concentración de cobre no varía significativamente con la edad de la planta, correspondiendo los valores máximos a la época de floración.

El contenido de cobre en la raíz varía muy significativamente durante el período de cultivo ($P = 0,001$) y ello viene a corroborar los resultados conseguidos por Malavolta (18).

Agradecimiento

Los autores manifiestan su agradecimiento a la Comisión Asesora de Investigación Científica y Técnica por la ayuda económica otorgada a la realización del presente trabajo integrado dentro de un proyecto de investigación.

Asimismo, agradecen al Sr. Melgar Porcel, Ayudante de Investigación, su ayuda técnica.

RESUMEN

Se determinan analíticamente los niveles de B, Fe, Mn, Zn y Cu durante el crecimiento y desarrollo de la planta de guisante (*Pisum sativum*, var. Lincoln) en condiciones normales de cultivo (hidropónicas).

A lo largo del período de cultivo hay un progresivo aumento de la concentración de cobre en raíz, y una disminución de la concentración de cinc en raíz, sin que exista una tendencia definida para los restantes elementos.

La mayor concentración de B, Fe, Mn y Zn corresponde, en todas las etapas del cultivo, a las hojas basales, mientras que en los tallos basales, las mayores concentraciones corresponden a las etapas de crecimiento vegetativo (B, Fe, Zn) o al inicio de la floración (Mn, Cu).

A medida que aumenta la edad de la planta, también lo hace la concentración de boro en hojas; para los restantes elementos, existe una disminución de la concentración en función de la edad del cultivo.

Estación Experimental del Zaidín (C. S. I. C.), Granada.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) BERGH, H. (1952). Investigations carried out with radio-zinc added to soil growing *Pisum s. var. medullare*. Norske Videnskab-Selskabs. Forb., 25, 123.
- (2) BEYERS, C. P. (1966). The influence of the copper fertilization on the copper content of certain crops. S. Afr. J. Agr. Sc., 9, 907-10.
- (3) BOKEN, E. (1960). Effect of foliar applied manganese on the concentration of manganese in oat roots. Physiol. Plantarum, 13, 786-92.
- (4) DEROCK, P. C. (1955). Iron nutrition of plants at high pH. Soil Sci., 79, 167-75.
- (5) DUDAREV, V. J. (1970). Copper level in plants during their growth and development. Tr. Beloruss. Sel'skokhoz. Akad., 72, 164-9.
- (6) FONTANA, P. y DEL RE, A. A. (1972). Il boro nella plants. Atti IX Simposio Int. di Agrochimica, 15, 463-489.
- (7) GLADSTONES, J. S. (1975). Mineral elements in temperate crop and pasture plant. III. Copper. Aust. J. Agr. Res., 26, 113-26.
- (8) GLENISTER, P. R. (1944). Effects of iron deficiency on respiration of sunflower plants. Botan. Gaz., 106, 33-40.
- (9) GLUKHOV, V. M. (1973). Level of trace elements in legume crops. Mikroelement. Sib., 7, 11-15.
- (10) GÓMEZ, M. (1969). Tesis doctoral. Universidad de Granada.
- (11) GUARDIOLA, J. L. (1973). Growth and accumulation of mineral elements in the axis of young pea seedlings. Acta bot. neerl., 22, 55-68.
- (12) HAUNOLD, E. and WURST, F. (1970). Uptake of Cu^{64} by excised plant roots from nutrient solutions. Osterr. Studienges Atom-energ., SGAE LA-3.
- (13) HUGUET, C. (1970). Les oligo-elements en arboriculture et en veticulture. Ann. Agron., 21, 671.
- (14) KRASTINA, E. E. (1973). Gradients of potassium, calcium and magnesium concentrations along the vertical axis of various plant shoots. Izv. Timiryazev Sel'skokhoz Akad., 2, 3-11.
- (15) LEAL, A., GÓMEZ, M., SÁNCHEZ-RAYA, A. J. and RECALDE, L. (1975). A closed continuous flow system for hydroponic culture in plant nutrition research. Agrochimica, 19, 408-12.
- (16) LONERAGAN, J. F. (1975). The availability and absorption of trace elements in soil-plant systems and their relation to movement and concentrations of trace elements in plants. Trace elements in Soil-Plant Animal Systems. Ed. D. J. D. Nicholas. Academic Press., N. Y., 109-134.
- (17) McILHATH, W. J. (1965). Mobility of boron in several dicotyledoneas species. Botan. Gaz., 125, 27-30.
- (18) MALAVOLTA, E., ARZOLLA, J. P. and HAAG, H. P. (1956). Preliminary note on the absorption of radiozinc by young coffee plants grown in nutrient solution. Phytion, 6, 1.

- (19) (1971). Métodos analíticos para la Espectrofotometría de Absorción Atómica. Perkin Elmer AY-4.
- (20) RICEMAN, D. S. and JONES, G. B. (1960). Distribution of zinc in subterranean clover during the outset of zinc deficiency as determined by the use of radioactive isotops. Aust. J. Agr. Res., 11, 1962.
- (21) RÍO, L. A. DEL, GÓMEZ, M. and LÓPEZ-GORGE, J. (1977). Catalase and peroxidase activities, chlorophyll, and proteins during storage of pea plants at chilling temperatures. Rev. Esp. Fisiol., 33, 143-48.
- (22) SCHULZ, R. and MARSCHNER, H. (1969). Aufnahme und Verlagerung von Eisen bei Bohnenpflanzen von Transpiration und Stoffwechsellaktivitat. Z. Pflanzener und Bodenkunde, 124, 1.
- (23) SINGH, B. R. and STEENBERG, K. (1974). Plant response to micronutrients. II. Uptake, distribution and translocation of Manganese in maize and barley plants. Plant and Soil, 40, 647-54.
- (24) TIFFIN, L. O. (1967). Translocation of manganese, iron, cobalt and zinc in tomato. Plant Physiol., 42, 1427.
- (25) VLAMIS, J. and WILLIAMS, D. E. (1964). Iron and Manganese relations in rice and barley. Plant and Soil, 20, 221-31.
- (26) VORISEK, V. (1970). Dynamics of boron transport into seedlings of *Zea mays* and *Helianthus annuus*. Acta Univ. Agr. Brno. Fac. Agron., 18, 557-64.
- (27) WOLF, B. (1971). The determination of Boron, in soil extracts, plant materials, compost, manures, water and nutrient solutions. Soil Sci. and Plant Anal., 2 (5), 363-74.

Recibido para publicación: 11-IV-78

ASPECTOS FISICOS Y QUIMICOS DEL CRECIMIENTO Y MADURACION EN VARIEDADES DE CIRUELA DE INTERES EN LA REGION MURCIANA

por

F. ROMOJARO, E. BANET y S. LLORENTE

SUMMARY

PHYSICAL AND CHEMICAL CHARACTERISTICS OF GROWTH AND RIPENING IN SOME INTERESTING PRUNUS VARIETIES OF THE AREA OF MURCIA

This paper has been leaded to a better knowledgement of the evolution of physical and chemical characteristics in the fruits of both Golden Japan (*Prunus salicina* Lindl.), and Reina Claudia Verde (*Prunus domestica* L.) varieties, which have a great interest in our area.

A special attention have been done to the study of photosinthetic pigments, sugars and free acidity, in relation to the changes that they offer during the development and ripening of the fruits.

INTRODUCCIÓN

La escasa investigación relativa a evolución de características físicas y químicas de las variedades de ciruela Golden Japan y Reina Claudia Verde, cultivos que están adquiriendo amplia difusión en diversas zonas del Sureste español, nos inclinan a la necesidad de particularizar los estudios sobre la composición química de sus frutos y transformaciones que experimentan sus constituyentes durante las últimas fases de los procesos de desarrollo y maduración.

Para cualquier destino de la producción es conveniente un amplio conocimiento de su composición química, con indicación de la tendencia de diversos constituyentes durante el crecimiento del fruto, pero sobre todo con fines industriales, ya que un número variado de factores obliga a determinar de forma científica el momento óptimo de maduración y alcanzar así el mayor grado de homogeneidad en los productos finales.

La medida del color externo ha sido utilizada en algunas variedades de ciruela como parámetro representativo del estado de maduración (Ernest, 1958). En este sentido hemos prestado especial atención al estudio de los pigmentos fotosintéticos. La progresiva desaparición de clorofila y el incremento gradual de carotenoides, confieren al fruto

un aspecto característico que puede ser utilizado como representativo del estado de maduración. La investigación se ha limitado a su separación y cuantificación (Curl, 1963), pero no se ha tratado de relacionar clorofilas y carotenoides durante el crecimiento del fruto y su maduración.

También han sido objetivos esenciales del trabajo otros grupos constituyentes de esencial interés por su grado de participación en el metabolismo del fruto; de una parte, hidratos de carbono, como especifican Willier, Meynhardt y Bruin (1974), y de otra el comprendido por los ácidos orgánicos según Puech y Jouret (1974), compuestos que están muy diversificados entre sus numerosas variedades.

MATERIAL Y MÉTODOS

Para la realización de las experiencias se seleccionaron dos parcelas para cada una de las variedades objeto de investigación, con árboles fisiológicamente normales en su desarrollo y con un historial adecuado de producción.

Se eligieron dos bloques de diez árboles por parcela, marcándose en cada uno de ellos cuatro frutos en el momento del cuaje (1 y 20 de mayo, respectivamente, para Golden Japan y Reina Claudia Verde), distribuidos según los puntos cardinales, y que habrían de quedar como testigos para que el estudio de la evolución del fruto durante su crecimiento y maduración, frente a un mismo punto de referencia en el tiempo, fuese lo más homogéneo posible.

Al adquirir el fruto un tamaño adecuado y a intervalos periódicos de siete días, se recogieron dos de la zona externa de cada árbol, coincidente con algunas de las orientaciones de los testigos y aproximadamente de su mismo tamaño, obteniéndose así una muestra de ochenta frutos, estadísticamente suficientes para efectuar las determinadas propuestas. Durante el tiempo que han durado las experiencias, no se han observado diferencias significativas entre los frutos reseñados como testigos.

La metodología analítica aplicada ha sido la siguiente:

Extracto refractométrico: en refractómetro Zeiss, a 20° C.

Acidez: valoración potenciométrica con NaOH 0,1 N, hasta pH 8,1. Resultados en tanto por ciento de ácido málico anhidro.

Clorofilas: extracción en frío del material vegetal con acetona al 80 por 100, y lectura espectrofotométrica del extracto a 663-645 nm. Cuantificación de acuerdo con ecuaciones de Arnon (1949).

Azúcares: según método de Somogy (1945).

Carotenoides: extracción y saponificación (Jeffrey, 1963). Separación cromatográfica sobre cromatoplasas Merck de silicagel 60 (0,25 milímetros de espesor).

Las muestras depositadas en disolución etérea se desarrollaron con éter de petróleo-acetona (3:1). La identificación de las diferentes zonas se efectuó por espectrofotometría visible y ultravioleta, caracterizando los carotenoides que contienen grupos 5-6 epóxidos según ensayo propuesto por Jungalwala (1962).

La cuantificación según Verdú (1972).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla I se recoge, para ambas variedades, los valores de peso y diámetros del fruto correspondientes a las etapas medias y finales de su crecimiento, representadas fundamentalmente por el desarrollo y maduración del mesocarpio, así como las relaciones y grado de significación existente entre estas características físicas.

TABLA I

Evolución y relaciones de sus características físicas

Fecha de muestreo	Golden Japan				Reina Claudia verde			
	P g	H mm	DS mm	DC mm	P g	H mm	DS mm	DC mm
26.V.....	7,5	25,5	23,0	21,9				
9.VI.....	10,5	28,0	25,5	25,0	6,1	25,0	21,0	19,5
16.VI.....	13,6	29,0	28,0	28,5	7,7	26,0	22,9	21,5
23.VI.....	20,5	35,0	31,6	32,3	10,9	28,2	25,5	24,5
30.VI.....	26,3	36,0	34,5	35,0	14,7	30,1	30,0	27,5
7.VII.....	28,8	36,2	35,5	36,2	16,0	31,2	31,2	28,0
14.VII.....	25,5	35,5	33,7	34,3	19,8	31,5	32,0	30,9
21.VII.....	25,7	35,0	34,5	34,5	20,0	32,0	31,0	31,5
	Ecuación	r	° Sig. %		Ecuación	r	° Sig. %	
	$H = 0,051 P + 2,247$	0,974	0,1		$H = 0,054 P + 2,235$	0,868	1	
	$DS = 0,051 P + 1,954$	0,993	0,1		$DS = 0,086 P + 1,679$	0,783	1	
	$DC = 0,063 P + 1,841$	0,988	0,1		$DC = 0,096 P + 1,451$	0,954	1	

P = Peso; H = Altura; DS = Diámetro sutura; DC = Diámetro entre caras.

De los resultados obtenidos se deduce que en las medidas externas realizadas, los valores más altos corresponden en todo momento a la variedad japonesa, que presenta un incremento de peso considerable a partir de la tercera toma de muestras (16 junio) y coincidente con el momento de viraje de color en esta variedad.

La evolución indicada, reseñada también por la investigación para otras variedades (Rees, 1958), no se muestra patente en la Reina Claudia Verde, que posee un desarrollo más uniforme a lo largo de su ciclo, para alcanzar valores máximos, aproximadamente, una quincena posterior a la Golden Japan.

En la tabla II se exponen, para cada variedad, los resultados correspondientes a sólidos solubles, acidez, azúcares totales, reductores y sacarosa, durante el espacio de tiempo que se han mantenido las experiencias.

TABLA II

Evolución de componentes químicos

Fecha de muestreo	Sólidos solubles ° Brix	Acidez á. málico ‰	Azúcares totales ‰	Azúcares reductor. ‰	Sacarosa ‰
<i>Golden Japan</i>					
26.V.....	5,8	2,39	1,2	1,1	0,08
9.VI....	7,0	2,95	2,1	1,9	0,18
16.VI....	7,7	2,90	2,4	2,1	0,26
23.VI....	9,3	2,75	3,9	3,3	0,54
30.VI....	11,1	2,61	6,6	3,9	2,43
7.VII...	14,0	2,53	6,4	3,7	2,43
14.VII...	16,2	2,40	6,7	3,7	2,70
21.VII..	17,3	2,30	7,2	3,8	3,07
<i>Reina Claudia Verde</i>					
9.VI....	8,0	2,13	1,8	1,7	0,08
16.VI....	8,0	2,24	1,9	1,7	0,18
23.VI....	9,6	2,35	2,5	2,2	0,26
30.VI....	11,4	2,21	2,6	2,3	0,26
7.VII...	11,2	2,05	3,1	2,5	0,57
14.VII...	12,7	1,99	5,2	2,1	2,79
21.VII..	12,5	1,94	6,4	2,9	3,15

Como puede apreciarse, los sólidos solubles aumentan en ambas variedades durante su crecimiento, con tendencias bastante similares hasta las etapas de maduración, donde se establecen diferencias, pues mientras la primera variedad supera los 17° Brix, la Reina Claudia Verde sólo llega a alcanzar 12,5.

La evolución de la acidez libre es similar en ambas variedades. Muestran incrementos de su valor durante la primera fase del crecimiento hasta alcanzar un valor máximo, a partir del cual la acidez va disminuyendo paulatinamente durante todo el proceso de maduración. La variedad japonesa tiene, en todo momento, una acidez más elevada, con diferencias más acusadas en las etapas iniciales del desarrollo.

Los azúcares presentan evoluciones análogas en ambos casos. Destacamos las modificaciones que experimenta la fracción no reductora, con niveles muy pequeños durante las etapas iniciales, para aumentar rápidamente en los momentos anteriores a la maduración. Llegan a igualar, e incluso, superar los contenidos de azúcares reductores cuando el fruto alcanza la madurez comercial.

Los sentidos evolutivos obtenidos para sólidos solubles, acidez y azúcares, coinciden en líneas generales con los reseñados para otras

variedades (Rees, 1958; Schaller, 1960; Jouret, 1969). No ocurre lo mismo al comparar sus contenidos absolutos, que difieren considerablemente en función de la variedad, y confirma su influencia en la composición de los frutos.

Los cambios significativos de coloración que experimentan estos frutos durante su desarrollo y maduración, se diferencian ampliamente en estas variedades, hasta el punto que mientras la segunda no pierde su color verde en los momentos de recolección, la primera adquiere un intenso amarillo, procesos debidos a la mayor o menor desaparición de contenidos de clorofila y progresivos aumentos en los niveles de carotenoides.

En la figura 1 se representan los valores correspondientes a las clorofilas a, b y total, en ambas variedades. De su análisis se puede deducir que en cualquiera de las evoluciones que se considere, los niveles de clorofila son siempre superiores en la variedad Reina Claudia Verde. Las diferencias se acentúan al avanzar los procesos de maduración, por el descenso tan acusado en la Golden Japan de los valores de clorofila, que llegan incluso a su total desaparición.

Los cromatogramas obtenidos por separación en capa fina de los carotenoides presentes en las dos variedades, ponen de manifiesto la existencia de 8 y 9 bandas respectivamente, no detectándose en Reina Claudia Verde la señalada en la tabla III con el núm. 2. En dicha tabla se exponen los resultados de los diferentes carotenoides aislados, de acuerdo con los espectros de absorción.

TABLA III

Identificación de carotenoides

Banda	Color	Máximos (etanol)	Tratamiento CIH	Identificación
1	Amarillo	475, 449, (424) ^o	—	β -caroteno
2	Amarillo	448, 424, (403)	+	Mutacromo
3	Naranja	475, 447, 424	—	Criptoxantina
4	Amarillo	451, 427, 406	+	Criptoflavina
5	Naranja	473, 445, 423	—	Luteína
6	Amarillo	470, 440, 418	426, 402, 380	Violaxantina
7	Amarillo	448, 420, 395	426, 402, 380	Luteoxantina
8	Amarillo	426, 402, 380	+	Auroxantina
9	Amarillo	466, 437, 415	450, 422, 400	Neoxantina

^o En Hexano.

+ Carotenoides que adquieren coloración azul, sin modificar sus máximos.

En la figura 2 presentamos las evoluciones de carotenoides totales durante el desarrollo del fruto, calculados como β -caroteno y por suma de valores obtenidos al cuantificar las fracciones aisladas.

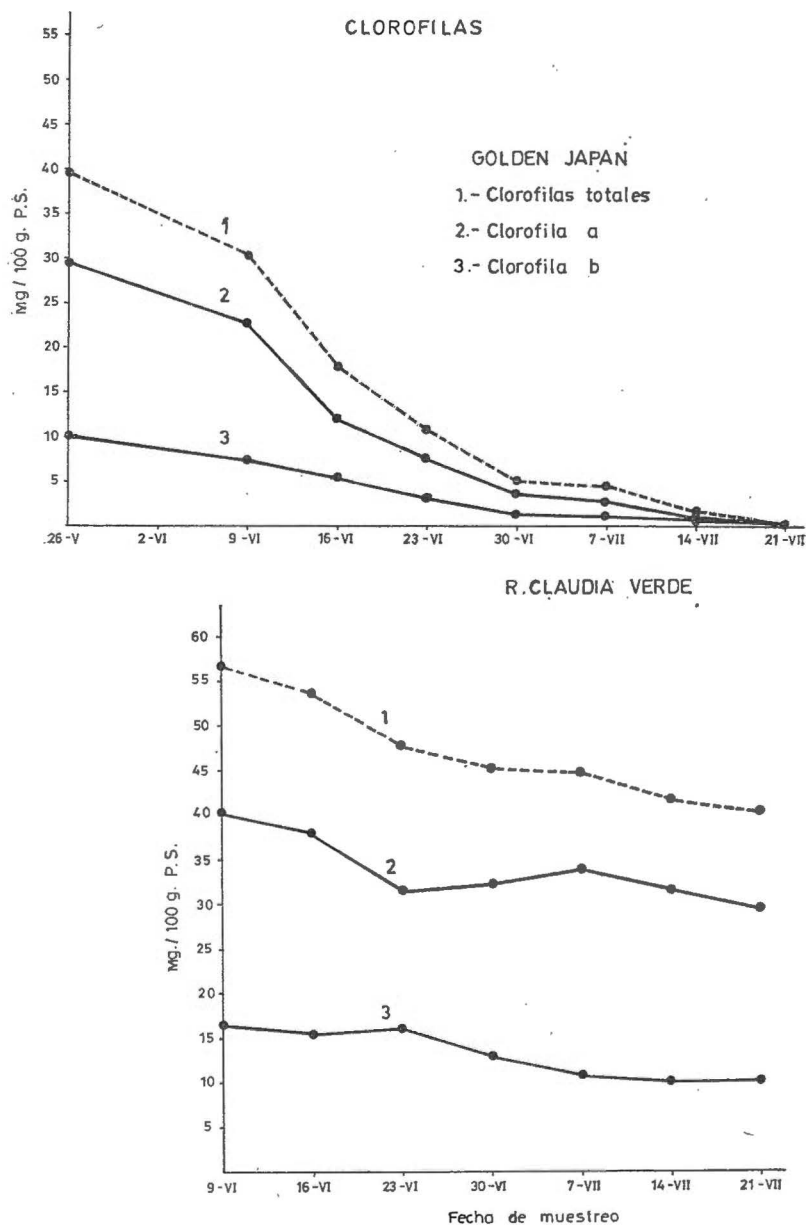


Fig. 1.

Es interesante resaltar la diferencia en contenidos de carotenoides que mantienen las dos variedades durante el desarrollo de nuestro trabajo. Valores no cuantificables de variadas fracciones identificadas en la Golden Japan se corresponden, en el mismo momento (9 de junio),

con valores totales superiores a 10 mg por 100 g en Reina Claudia Verde, aún a pesar de la mayor precocidad de la variedad japonesa. Esta situación se invierte totalmente con el tiempo. La progresiva disminución de estos compuestos a lo largo del proceso de desarrollo de la segunda variedad, se corresponden simultáneamente con incrementos continuados de la primera, aspectos visibles que se van acentuando con la desaparición de las clorofilas.

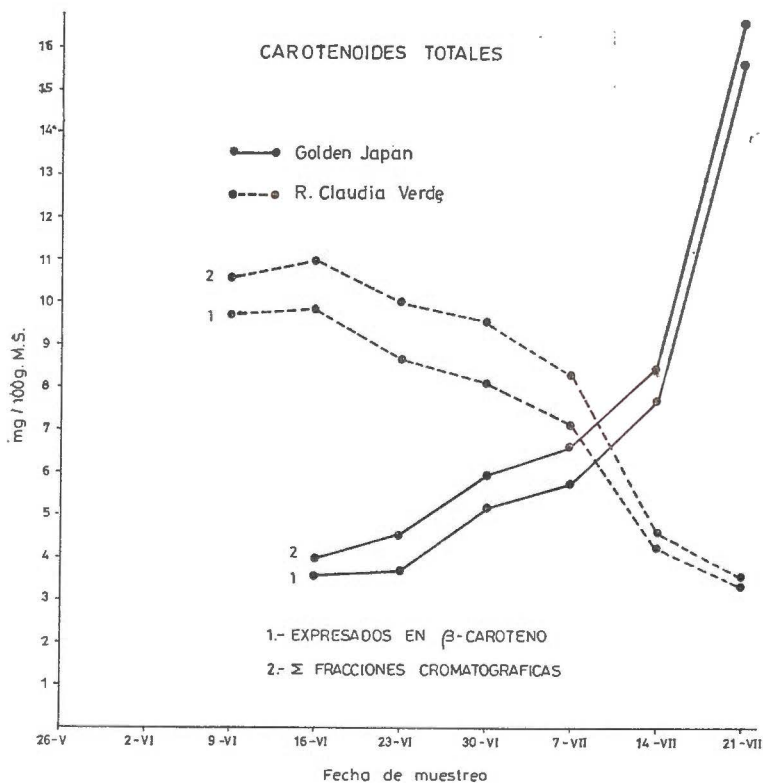


Fig. 2.

En las figuras 3 y 4 reproducimos las evoluciones de las fracciones identificadas de carotenoides en las variedades objeto de nuestro estudio.

Los progresivos aumentos en los contenidos de β -caroteno y Violaxantina en la variedad Golden Japan, que se acentúan durante las últimas etapas de maduración, proporcionan un sentido evolutivo que discurre paralelo al que presentan los carotenoides totales.

Creemos conveniente resaltar, en esta misma variedad, la similitud existente en las variaciones que experimentan algunos carotenoides y azúcares no reductores en determinados momentos del proceso de desarrollo del fruto. En efecto, el incremento de los contenidos de sacarosa que se inicia en el muestreo de 23 de junio, se corresponde con la

elevación simultánea de β -caroteno, violaxantina y disminución de luteína. Mientras que en la variedad Reina Claudia Verde, el significativo descenso que experimentan los carotenoides totales viene determinado, principalmente, por la evolución de luteína.

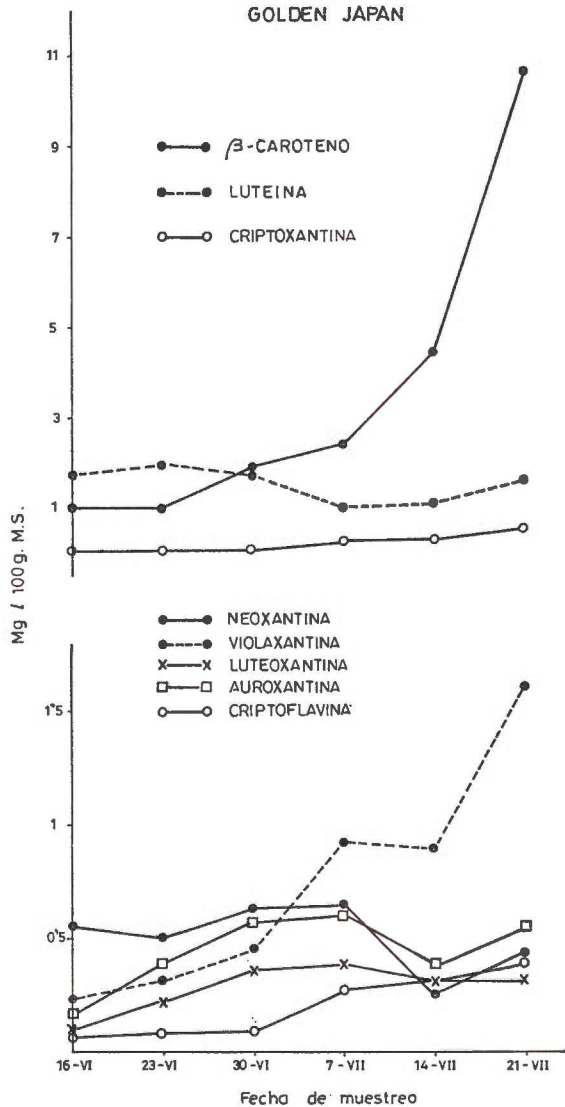


Fig. 3.

Del mismo modo hacemos la observación que en esta variedad también se presenta una cierta relación entre azúcares no reductores, por una parte, y violaxantina y pigmentos relacionados con ella —neoxantina y auroxantina—, por otra. Los contenidos de éstos alcanzan una

punto máximo en el preciso momento en que se aprecia el incremento de los valores de sacarosa.

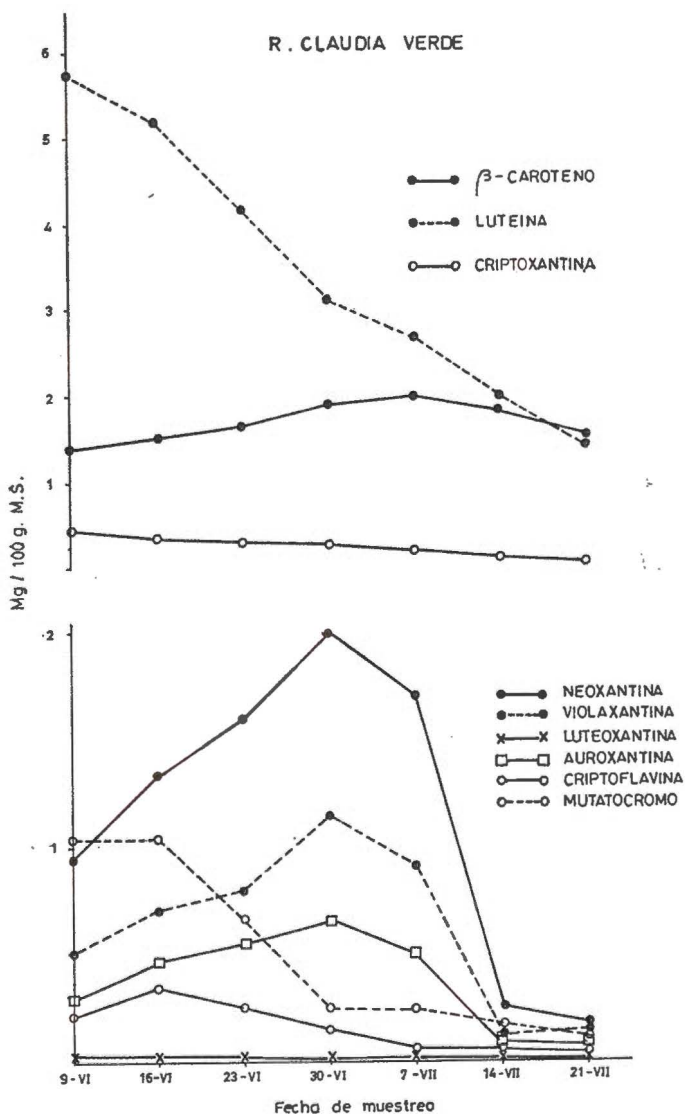


Fig. 4.

Tras la discusión de estos resultados no se pueden establecer fechas exactas para la maduración comercial de estos frutos, dependiente en buen grado del estado climatológico del año que se considere, pero si pretendemos establecer ciertas características que coinciden en momentos determinados de su desarrollo, y que pueden servir de guía para la obtención de producciones homogéneas.

En la variedad Golden Japan, el mayor peso del fruto (en nuestras experiencias, a primeros de julio) concuerda con un salto brusco en sus contenidos de sacarosa, los niveles de clorofila están tan bajos que prácticamente pueden darse por desaparecidos, mientras que los carotenoides totales inician un intenso incremento de sus valores, debidos en su mayor parte, a las proporciones de β -caroteno. Y es interesante, al propio tiempo, resaltar —aún dentro de sus pequeños porcentajes— como en este tiempo se exaltan los niveles de violaxantina.

Por otra parte, la variedad Reina Claudia Verde presenta características distintas a lo largo de todo su desarrollo. Pero vienen a incidir también sus momentos claves de maduración con el mayor peso del fruto. En efecto, un poco más retrasada que la anterior, es en nuestro trabajo del 14 a 21 de julio, cuando experimenta su mayor incremento en azúcares, determinados esencialmente por la variación de niveles de sacarosa. Es menor la acidez que presenta y en conjunto, cuando los sólidos solubles adquieren su mayor concentración. Momento que también viene a coincidir con una estabilización en sus contenidos de clorofila, que se mantienen altos en contraposición con los menores de carotenoides totales, representados casi exclusivamente por β -caroteno y luteína, ya que el resto y en estas fechas han bajado tanto sus niveles, que prácticamente no ejercen influencia alguna respecto al color del fruto.

RESUMEN

El trabajo ha sido dirigido hacia un mejor conocimiento en la evolución de las características físicas y químicas de la ciruela en las variedades Golden Japan (*Prunus salicina* Lind.) y Reina Claudia Verde (*Prunus domestica* L.), de grandes posibilidades en nuestra región.

Se ha prestado especial atención al estudio de pigmentos fotosintéticos, azúcares y acidez libre, referidos a los importantes cambios que ofrecen durante el desarrollo y maduración del fruto.

Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura.
Sección de Química Vegetal.

BIBLIOGRAFÍA

- ARNON, D. I. (1949). Cooper enzymes in isolated chloroplast. Polyphenoloxidase in Beta vulgaris. *Plant Physiol.*, 24, 1-7.
- CURL, A. L. (1963). The carotenoids of Italian prunes. *J. Food Sci.*, 28, 623-626.
- ERNEST, J. V., BIRTH, G. S., SIDWELL, A. P. and GOLUMBIC, C. (1958). Evaluation of light transmittance techniques for maturity measurements of two varieties of prune-type plums. *Food Tech.*, 12, 595-599.
- JEFFREY, S. W. (1963). Purification and properties of chlorophyll from *Sargassum flavicans*. *Biochem. J.*, 86, 313-318.
- JOURET, C., MAUGENET, J. and MESNIER, Y. (1969). Maturation de la prune d'Ente: révolution de la composition chimique du fruit. *Indust. Alim. Agr.*, 6, 795-799.
- JUNGALWALA, F. B. and CAMA, H. R. (1962). Carotenoids in *Delonix regia* (Gul Mohr) flower. *Biochem. J.*, 85, 1-8.
- PUECH, J. L. et JOURET, C. (1974). Les acides à noyau aromatique de la prune d'Ente et du pruneau d'Agen. *Comp. Rend. Seanc. Ac. Agr. de France*, 60, 92-96.
- REES, D. I. (1958). The chemical constituents of Victoria plums: changes during growth on the tree. *J. Sci. Food Agric.*, 9, 404-410.

- SOMOGY, M. (1945). A new reagent for determination of sugars. *J. Biol. Chem.*, **160**, 61-68.
- SCHALLER, A. et SALLER, W. (1960). Le jus de prunes. *Fruits*, **15**, 409-413.
- VERDÚ, J. (1972). Contribución al estudio de los pigmentos fotosintéticos en Citrus. Ed. Univ. de Murcia.
- WILLIER, O. T. DE, MEYNHARDT, J. J. and BRUIN, J. A. DE (1974). The metabolism of sorbitol and sugars in Santa Rosa plums. *Agroplanta*, **6**, 51-54.

Recibido para publicación: 6-VII-78

GERMINACION, DESARROLLO VEGETATIVO Y COMPOSICION MINERAL DEL GUISANTE (*PISUM SATIVUM*) EN CONDICIONES SALINAS (1)

por

A. CERDA, M. CARO, F. G. FERNANDEZ y M. G. GUILLEN

SUMMARY

GERMINATION, PLANT GROWTH, AND MINERAL COMPOSITION OF PEA (*PISUM SATIVUM*) IN SALINE CONDITIONS

Two experiments were carried out to evaluate Pea salt tolerance during germination and later growth.

Seven Pea varieties were tested in the germination experiment with electrical conductivity of saturation extract (EC_{es}) ranging from 1,4 to 13,2 mmho/cm. Significant differences were observed among Pea varieties *NZ-205*, *NZ-1076*, *NZ-1017* and *Stop* were the most tolerant; *Durana*, *Rivalin* and *Action* the least at germination.

Plant growth up to flowering was evaluate in the greenhouse in a later experiment with three Pea varieties with EC_{es} varying from 0,8 to 9 mmho/cm. Top growth of *Durana* and *Rivalin* decreased by increasing soil salinity. On the other hand, *NZ-1017* was not affected up to EC_{es} of 6 mmho/cm. Chloride and Na leaf contents of all varieties increased as soil salinity increased, Mg content decreased and Ca and K contents were practically unaffected.

INTRODUCCIÓN

El guisante pertenece a la familia de las Leguminosas y ha sido tradicionalmente un cultivo de secano. Sin embargo, recientemente su cultivo presenta un gran interés en el Sureste español, concretamente en el Campo de Cartagena, área de características climáticas semiáridas, debido a la introducción de variedades que, cultivadas en regadío, pueden producir altos rendimientos y además poseen las condiciones idóneas para la industrialización, bien por los métodos de conservación tradicionales, o por los más recientes de deshidratación o liofilización.

Uno de los principales factores que pueden limitar la obtención de altos rendimientos con este cultivo, en la zona considerada, es la calidad de las aguas de riego de dicha comarca que en general presentan contenidos medios o altos en sales solubles, principalmente cloruros (Carpena et al., 1972).

(1) Trabajo núm. 350 del Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura. Murcia.

De acuerdo con la información que los autores poseen, no hay datos específicos acerca de la tolerancia a la salinidad del guisante, lo cual hace difícil evaluar el peligro potencial que pueden representar para este cultivo, tanto las aguas de riego como los suelos con altos contenidos en sales.

Este trabajo se ha realizado con objeto de determinar el efecto de la salinidad del suelo sobre la germinación, desarrollo y composición mineral de diversas variedades de guisantes, lo que permitirá actuar con mayores probabilidades de éxito en el desarrollo y extensión de este cultivo en regadío, en las zonas semiáridas del Sureste español.

MATERIAL Y MÉTODOS

Experiencia de germinación

El ensayo se ha realizado según un diseño factorial con cinco niveles salinos, siete variedades y tres repeticiones. Las siete variedades utilizadas han sido aquellas que se cultivan más frecuentemente en el Campo de Cartagena en la actualidad: *NZ-1076*, *NZ-1017*, *NZ-205*, *Action*, *Durana*, *Stop* y *Rivalin*.

El suelo utilizado en este ensayo era un suelo típicamente arenoso, que se salinizó artificialmente mediante la adición de una disolución de NaCl a distintas concentraciones y se secó posteriormente al aire. Los cinco niveles de salinidad resultantes presentaban los siguientes valores de conductividad eléctrica en el extracto de saturación (CE_{es}): 1,4-4,5-9,2-11,8 y 13,2 mmho/cm, respectivamente. El nivel más bajo correspondía a la CE_{es} del suelo sin salinizar.

La germinación se efectuó en recipientes de plástico de 12 cm de diámetro que contenían 200 g de suelo. En cada recipiente se colocaron 15 semillas, y se añadió la cantidad de agua necesaria para alcanzar la capacidad de campo del suelo, manteniendo los recipientes cubiertos con tapaderas de plástico transparentes, con objeto de evitar las pérdidas de humedad, aunque se retiraban unos segundos, dos veces por día, para facilitar la renovación del aire. La temperatura se mantuvo constante a $25^{\circ}C \pm 2$.

Diariamente se efectuaron recuentos hasta que el número de semillas germinadas permaneció constante, lo que ocurrió a los ocho días.

Experiencias en invernadero

De las siete variedades utilizadas en la experiencia de germinación, tres de ellas se ensayaron en un estudio posterior con macetas en invernadero. Las variedades se seleccionaron de acuerdo con su tolerancia a la salinidad en la fase de germinación: la *NZ-1017* que presentaba una gran tolerancia a todos los niveles de salinidad, la *Rivalin* que era tolerante a niveles de salinidad media y la *Durana* que era más sensible.

La experiencia consistió en un diseño factorial de 3 variedades, 4 niveles salinos y 3 repeticiones.

El suelo utilizado en esta experiencia era un suelo típico de la re-

gión cuyas características químicas, físicas y físico-químicas se presentan en la tabla I.

TABLA I
Análisis de suelo

<i>Análisis químico</i>	
Carbonatos totales (CaCO ₃).....	58,0 %
Carbonatos activos (CaCO ₃).....	17,64 %
Carbono total.....	1,64 %
Materia orgánica.....	2,83 %
Nitrógeno total.....	0,154 %
C/N.....	10,7
Fósforo asimilable (Olsen y Watanabe).....	60,0 ppm
Potasio asimilable.....	1,33 meq/100 grs.
Sodio soluble.....	0,12 "
Cloruros (Cl ⁻).....	0,13 "
Sulfatos (CaSO ₄ · 2H ₂ O).....	0,0 %
<i>Análisis químico-físico</i>	
Sodio de cambio.....	0,4 meq/100 grs.
Potasio de cambio.....	0,76 "
Calcio de cambio.....	9,60 "
Magnesio de cambio.....	8,96 "
Cap. de cambio total.....	16,79 "
EC ₅	250 µmho/cm
<i>Análisis físico</i>	
Arena gruesa (> 250 µ Ø).....	9,30 %
Arena fina (250—50 µ Ø).....	28,40 %
Limo (50—2 µ Ø).....	35,80 %
Arcilla (< 2 µ Ø).....	26,50 %
Textura.....	Franca

La salinización del suelo se realizó previamente por adición, a partes iguales, de NaCl y CaCl₂ hasta alcanzar concentraciones salinas en el suelo de 0,075, 0,15 y 0,23 por 100.

La CE_{es} resultante de los cuatro niveles salinos establecidos fue: 0,8-4,0-6,0 y 9,0 mmho/cm respectivamente. El valor de 0,8 mmho/cm correspondía al del suelo sin salinizar.

Las macetas se llenaron con 2,2 kg de suelo. En cada maceta se sembraron 9 semillas. A cada maceta se le añadieron 0,5 g de KNO₃ y 4 g de superfosfato de cal (18 por 100 P₂O₅) antes de la siembra. Posteriormente se eliminaron las plantitas de menor desarrollo, manteniendo sólo tres. La experiencia se dio por terminada cuando las plantas estaban iniciando la floración.

Las plantas se separaron en raíz y parte aérea y se secaron a 65° C durante cuarenta y ocho horas. La parte aérea se molió para analizarla químicamente. El método consistió en mineralizar 0,1 gr de material vegetal con 1 ml de una mezcla nítrico-perclórica (2:1) y diluir con agua desmineralizada hasta un volumen de 25 ml (Abrisqueta y Romero, 1969). Na y K se midieron por fotometría de llama y Ca y Mg por absorción atómica. El Cl se midió potenciométricamente utilizando el método de Johnson modificado (Johnson et al., 1958).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Germinación

En la tabla II se presentan los resultados obtenidos, así como el estudio estadístico de dichos resultados. En la fig. 1 se presentan grá-

TABLE II

Efecto de la salinidad sobre la germinación de siete variedades de guisantes

Tratamientos	CE _{es}	V A R I E D A D E S						
		NZ-1076	NZ-1017	NZ-205	Action	Durana	Stop	Rivalin
0	1,4	15 a A	12 b B	12 c B	10 a CD	10 a CD	9 a D	11 b BC
1	4,5	15 a A	13 a BC	14 a AB	9 b D	9 d D	7 b E	12 a C
2	9,2	13 b A	11 c B	13 b A	10 a B	8 c C	6 c D	10 c B
3	11,8	8 c B	8 d B	10 d A	5 c CD	6 d C	4 d D	6 d C
4	13,2	5 d AB	5 e AB	6 e A	2 d D	3 e CD	3 e CD	4 e BC

A N O V A				
F. variación	G. L.	S. C.	Varianza	F
Niveles salinos.....	4	367,5	61,3	87,87 ***
Variedades.....	6	887,1	221,8	24,27 ***
Interacción.....	24	81,7	3,4	1,34
Error.....	70	176,7	2,5	
Total.....	104	1513,0		

Los valores medios en una misma columna o fila que no tengan en común una misma letra minúscula o mayúscula respectivamente, difieren significativamente al nivel 0,05, según el ensayo de intervalo múltiple de Duncan.

*** Significativo a P: 0,001.

fícamente los porcentajes relativos de germinación de las siete variedades de guisantes.

El efecto de la salinidad sobre la germinación de las semillas resulta altamente significativo. Debe observarse que este efecto presenta dos componentes, ya que al aumentar la concentración de sales en el sustrato disminuye el porcentaje de semillas germinadas y aumenta el tiempo necesario para la emergencia de las mismas. Estos mismos

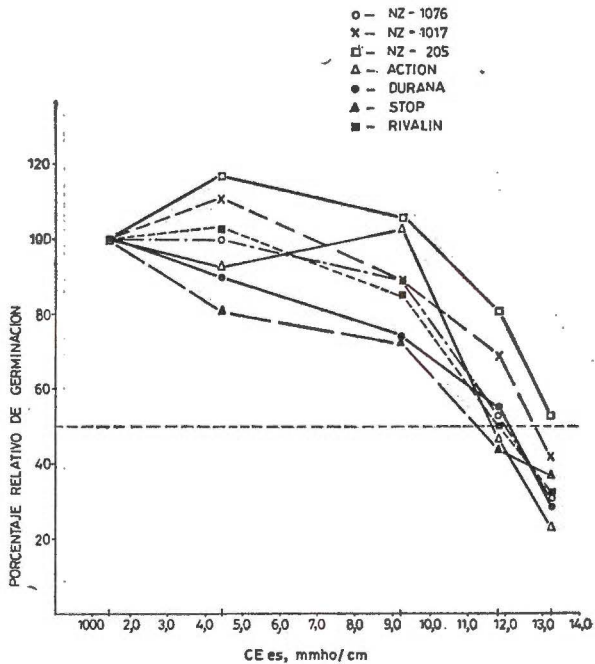


Fig. 1.--Variación del porcentaje de germinación de semillas de guisante en función de la CE_{es} del suelo

efectos han sido observados en la germinación, en condiciones similares, de otras especies diferentes por Caro et al. (1978) en pimiento y Fernández et al. (1975) en tomate. Excepto para las variedades *Action*, *Durana* y *Stop* el porcentaje de germinación prácticamente no disminuyó cuando la CE_{es} era menor de 9,2 mmho/cm. Sin embargo, al aumentar la CE_{es} por encima de dicho valor, se obtuvieron disminuciones apreciables de germinación en todas las variedades ensayadas. Esto puede ser debido, bien a una reducción en el potencial de agua en el suelo, con lo que las semillas no pueden absorber el agua necesaria para su germinación, o bien a la toxicidad de las sales presentes en el sustrato, o incluso a una combinación de ambos efectos (Uhvits, 1946; Bernstein, 1958).

También existe un efecto altamente significativo de la variedad en la fase de germinación, observándose notables diferencias en los por-

centajes de germinación de las distintas variedades a un mismo nivel de salinidad, si bien estas diferencias tienden a ser menores a concentraciones salinas altas. Es interesante destacar como en algunas variedades aumenta el porcentaje de germinación a concentraciones salinas medias o bajas. Por ejemplo en la variedad *NZ-205* aumenta hasta que la CE_{es} es de 9,2 mmho/cm, y en las *NZ-1017*, *NZ-1076* y *Rivalin* hasta una CE_{es} de 4,5 mmho/cm. Este efecto también ha sido observado por Caro et al. (1978) en algunas de las variedades de pimiento ensayadas y por Fernández et al. (1975) en tomate.

La CE_{cs} necesaria para producir una disminución del 50 por 100 en el porcentaje de germinación oscila entre 11,2 mmho/cm, para la variedad *Stop* que es la más sensible en esta fase de germinación y 13,3 mmho/cm para la *NZ-205* que es la más tolerante, estando todas las demás variedades comprendidas entre estos dos valores. Abel y Mackenzie (1964) en judías, Ghorasky et al. (1972) en girasol y Torres et al. (1974) en trigo, también observaron estos efectos varietales en la fase de germinación.

Desarrollo vegetativo

Las plantas de las variedades *NZ-1017* y *Durana* presentaban un gran desarrollo vegetativo, aunque los tallos de la variedad *Durana* tenían una mayor consistencia que los de la *NZ-1017*. La variedad *Rivalin* era la que claramente presentaba un desarrollo menor.

En la tabla III se recogen los valores de los rendimientos expresados como peso de materia seca de la parte aérea de las tres variedades. Cada valor es la media de nueve plantas individuales.

El efecto de la salinidad, aunque altamente significativo, afectaba de manera diferente a las tres variedades. Así, en las variedades *Durana* y *Rivalin*, el rendimiento disminuía progresivamente al aumentar la CE_{es} , más intensamente en la variedad *Durana* que en la *Rivalin*. Sin embargo, la respuesta de la variedad *NZ-1017* fue más peculiar, ya que el rendimiento era prácticamente el mismo que en el control hasta 6 mmho/cm y por encima de este valor disminuía bruscamente al aumentar la CE_{es} , alcanzando valores más bajos que en las otras variedades.

En la figura 2 se representan las líneas de regresión que ligan los rendimientos relativos (y) con la CE_{es} para las tres variedades y que corresponden a las ecuaciones:

$$NZ-1017 : y = -2,4 CE_{es}^2 + 14,7 CE_{es} + 90 \quad r = -0,992$$

$$Durana : y = -6,1 CE_{es} + 104,8 \quad r = -0,982$$

$$Rivalin : y = -4,2 CE_{es} + 103,8 \quad r = -0,979$$

De acuerdo con ellas la CE_{cs} para producir un 50 por 100 de reducción del rendimiento máximo de la parte aérea es 8, 9 y 12 mmho/cm para las variedades *NZ-1017*, *Durana* y *Rivalin* respectivamente. Los resultados expuestos ponen de manifiesto que también hay efectos varietales en la tolerancia a la salinidad en esta fase de desarrollo, y que pueden no estar relacionados con la tolerancia en la fase de germina-

ción, como sucede en este ensayo. Como consecuencia de ello, debe tenerse en cuenta al utilizar distintas variedades de una misma especie, el grado de salinidad del suelo o del agua a utilizar, para que de acuerdo con esto elegir la variedad más idónea.

TABLA III

Efecto de la salinidad sobre el rendimiento en materia seca de la parte aérea de tres variedades de guisantes

Tratamientos	CE _{es} mmho/cm	VARIETADES		
		g/planta		
		NZ-1017	Durana	Rivalín
0	0,8	0,26 a B	0,31 a A	0,20 a C
1	4,0	0,29 a A	0,24 b B	0,16 ab C
2	6,0	0,24 a A	0,23 b A	0,15 ab B
3	9,0	0,08 b B	0,15 c A	0,13 b A

A N O V A

F. variación	G. L.	S. C.	Varianza	F
Niveles salinos.....	3	0,092	0,031	10,56 ***
Variedades.....	2	0,034	0,017	5,82 **
Interacción.....	6	0,030	0,005	1,72
Error.....	24	0,070	0,003	
Total.....	35	0,227		

Los valores medios en una misma columna o fila que no tengan en común una misma letra minúscula o mayúscula respectivamente, difieren significativamente al nivel 0,05, según el ensayo de intervalo múltiple de Duncan.

*** Significativo a P: 0,001.

** Significativo a P: 0,01.

Habida cuenta de la tolerancia relativa a la salinidad de las distintas variedades en la fase de germinación establecida en el epígrafe precedente, y del hecho de que el vigor del desarrollo en la fase de floración está altamente correlacionada con el rendimiento, pudiendo considerarse como un índice de rendimiento potencial en condiciones de salinidad (Shah, 1966; Torres et al., 1974; datos no publicados del Laboratorio de Salinidad del C. E. B. A. S.) puede concluirse que las variedades NZ-1017 y Durana serán las más adecuadas para el cultivo en las con-

diciones de salinidad de suelo y agua que prevalecen en el Campo de Cartagena.

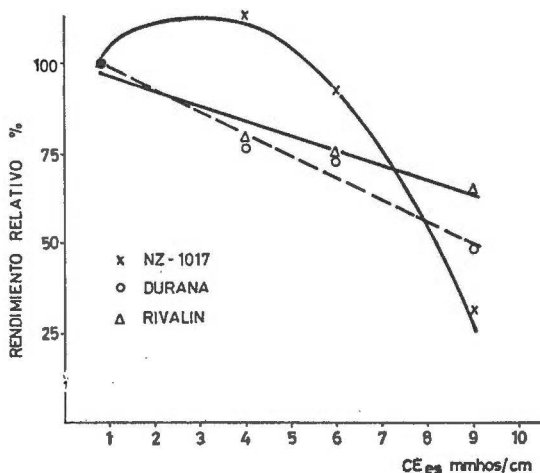


Fig. 2. —Relación entre el rendimiento relativo en materia seca de la parte aérea y la CE_{es} del suelo, para cada variedad

Composición mineral

El análisis foliar es útil para determinar el efecto de la salinidad en el substrato sobre la absorción de nutrientes por las plantas. En la tabla IV se recogen los valores medios de Cl, Na, K, Ca y Mg de las tres variedades de guisantes ensayadas.

Las concentraciones foliares de Cl y Na aumentaban significativamente al aumentar el nivel de salinidad en el suelo, si bien en el nivel más alto estos aumentos eran menos apreciables. La concentración foliar de Ca, a pesar de ser un catión salinizante, prácticamente no varía, esto probablemente sea debido, por una parte, al carácter fuertemente calizo del suelo y por otra a su antagonismo con el Na, lo cual permite confirmar que las raíces de los guisantes absorben preferencialmente el Na. Estos resultados, sin embargo, están en contradicción con la teoría de Jacoby (1964), la cual postula la exclusión de Na en las hojas, al menos a altos niveles de Ca, y con los resultados obtenidos por Parra y Cruz (1976) en judías. La concentración foliar de K en general no resultó afectada por la salinidad. La concentración de Mg disminuía con el nivel salino, lo cual también parece confirmar el antagonismo entre cationes mono y divalentes.

El efecto de las variedades en la absorción de nutrientes es significativo en todos los elementos, siendo la variedad de menor desarrollo vegetativo la que acumulaba más nutrientes. En la figura 3 se representan las rectas de regresión de los rendimientos como una función tanto de la concentración de Cl como de la de Na.

Aunque los contenidos de Cl y Na son bastantes elevados y están

TABLA IV

Efecto de la salinidad sobre la composición mineral de tres variedades de guisantes

	Niveles salinos				F	
	0	1	2	3	Niveles salinos	Variedades
Cloruro %					230,0 ***	34,4 ***
NZ-1017.....	1,31 a A	3,77 c B	6,41 c C	7,30 b D		
Durana.....	1,14 a ₂ A	4,39 b B	5,71 b C	7,10 b D		
Rivalín.....	1,39 a A	6,20 a B	8,52 a C	9,21 a D		
Sodio %					31,5 ***	8,8 **
NZ-1017.....	0,43 a A	0,75 b B	1,27 b C	1,59 ab D		
Durana.....	0,32 a A	0,90 b B	0,88 c B	1,41 b C		
Rivalín.....	0,49 a A	1,32 a B	1,66 a C	1,87 a C		
Potasio %					3,48 *	10,3 ***
NZ-1017.....	5,7 a C	6,1 a BC	7,2 a A	6,4 a B		
Durana.....	5,1 b B	5,2 b B	6,3 b A	5,3 b B		
Rivalín.....	5,3 ab A	5,4 b A	5,2 c A	5,6 b A		
Calcio %					1,41 NS	11,1 ***
NZ-1017.....	5,5 ab	4,6 b	4,4 c	4,8 b		
Durana.....	5,1 b	4,8 b	5,0 b	4,4 b		
Rivalín.....	5,9 a	6,1 a	5,6 a	5,7 a		
Magnesio %					6,47 **	4,2 *
NZ-1017.....	1,43 a A	0,89 b B	0,83 b B	0,84 a B		
Durana.....	0,99 b A	0,89 b A	0,83 b A	0,83 a A		
Rivalín.....	1,27 a A	1,23 a AB	1,05 a BC	0,93 a C		

Los valores medios en una misma columna o fila para cada elemento que no tengan en común una misma letra minúscula o mayúscula respectivamente, difieren significativamente al nivel 0,05, según el ensayo de intervalo múltiple de Duncan.

*** Significativo a P: 0,001.

** Significativo a P: 0,01.

* Significativo a P: 0,05.

NS No significativo.

correlacionados inversamente con los rendimientos en materia seca con un alto grado de significación, la disminución en rendimiento puede ser debida no sólo a una acumulación excesiva de estos iones, sino también a un posible desequilibrio nutricional en las plantas, pues aunque

la concentración foliar de Ca, Mg y K no fue afectada grandemente por la salinidad, es evidente que la absorción (concentración \times rendimiento) de estos nutrientes se redujo notablemente al aumentar el nivel salino en el sustrato.

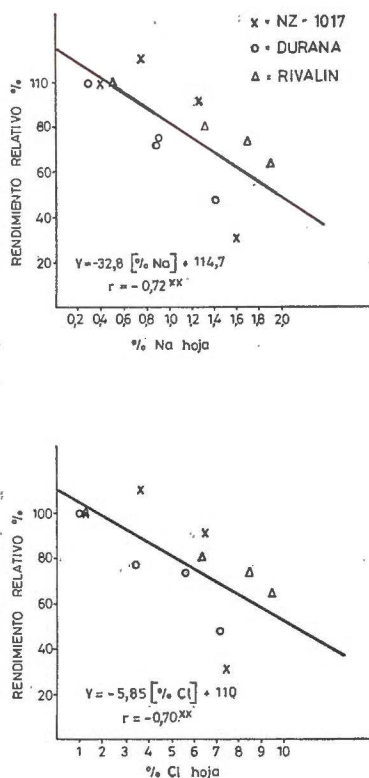


Fig. 3.—Relaciones entre el rendimiento relativo en materia seca de la parte aérea y las concentraciones en sodio y cloruro

CONCLUSIONES

Los resultados de esta experiencia muestran que el guisante se puede clasificar como semitolerante a la salinidad, mostrando una mayor tolerancia en la fase de germinación, si bien entre las variedades de guisantes estudiadas hay notables diferencias en su tolerancia a la salinidad.

De entre las ensayadas, las variedades *NZ* seguidas de la *Durana* y *Action*, parecen las más adecuadas para las condiciones existentes en la comarca considerada. Estos resultados será necesario comprobarlos en campo.

RESUMEN

Se han realizado dos experiencias para establecer la tolerancia del guisante a la salinidad en la fase de germinación y en posteriores estados de desarrollo.

En la experiencia de germinación se utilizaron siete variedades de guisante con un rango de conductividad eléctrica en el extracto de saturación de 1,4 a 13,2 mmho/cm. Las variedades presentaban diferencias significativas. La *NZ-205*, *NZ-1076*, *NZ-1017* y la *Stop* fueron las más tolerantes; la *Durana*, *Rivalin* y la *Acción* fueron las menos tolerantes en esta fase de germinación.

El desarrollo de las plantas hasta la floración se evaluó en una experiencia de invernadero utilizando tres de estas variedades. La CE_{es} estaba comprendida entre 0,8 y 9 mmho/cm. El desarrollo de la parte aérea de las variedades *Durana* y *Rivalin* disminuyó cuando la salinidad del suelo aumentaba. Sin embargo, el desarrollo de la variedad *NZ-1017* no disminuyó hasta que la CE_{es} era mayor de 6 mmho/cm. Las concentraciones foliares de Cl y Na en todas las variedades aumentaban al aumentar la salinidad del suelo, los de Mg disminuían y los contenidos de Ca y K prácticamente no variaban.

*Departamento de Fertilidad de Suelos y Nutrición Vegetal.
Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura. Murcia.*

BIBLIOGRAFÍA

- ABEL, G. H., MACKENZIE, A. J. (1964). Salt tolerance of Soybean varieties (*Glycine max* L. Merrill) during germination and later growth. *Crop. Sci.*, 4, 157-161.
- ABRISQUETA, C., ROMERO, M. (1969). Digestión húmeda rápida de suelos y materiales orgánicos. *An. Edafol. Agrobiol.*, XXVIII, 855-867.
- BERNSTEIN, L. (1958). Physiology of salt tolerance. *An. Rev. Plant Physiol.*, 9, 25-46.
- CARO, M., FERNÁNDEZ, F. G., CERDÁ, A. (1978). Influencia del cloruro sódico sobre la germinación de semillas de pimiento (*Capsicum annuum*). *An. Edafol. Agrobiol.* XXXVII, 871-879.
- CARPENA, O., GUILLÉN, M. G., FERNÁNDEZ, M. G., CARO, M. (1972). Sales solubles en suelos y aguas de riego de la provincia de Murcia. *Memorias Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura*. XII, Pub. núm. 208, 113-131.
- FERNÁNDEZ, F. G., CARO, M., CERDÁ, A. (1975). Influencia del cloruro sódico sobre la germinación de semillas de tomate (*Lycopersicum esculentum*). *Rev. Agr. Tec. Al.*, 15, 591-599.
- GHORASHY, S. R., SIONIT, N., KHERADNAM, M. (1972). Salt tolerance of Safflower varieties (*Carthamus tinctorius* L.) during germination. *Agr. J.*, 64, 256-257.
- JACOBY, B. (1964). Function of bean roots and stems in sodium retention. *Pl. Physiol.*, 39, 445-449.
- JOHNSON, C. M., HUSTON, R. P., OZANNE, P. G. (1958). Measurement of microgram amounts of chlorine in plant materials. *Agric. Food. Chem.*, 6, 114-118.
- PARRA, M. A., CRUZ, G. (1976). Salt tolerance of beans under a sand mulch cultures. *Proc. Int. Conf. on managing saline water for irrigation*, 220-235, Lubbock, Texas.
- SHAH, B. H. (1966). Effect of sodium and potassium chloride on the growth and early seedlings of some varieties of wheat from Pakistan in nutrient solution. *Agr. Pakistan*, 17, 129-138.
- TORRES, C., BINGHAM, F. T., OERTLI, J. (1974). Salt tolerance of Mexican wheat. II. Relation to variable sodium chloride and length of growing season. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 38, 777-780.
- UJEVITS, RACHEL (1946). Effect of osmotic pressure on water absorption and germination of alfalfa seeds. *Am. J. Bot.*, 33, 278-285.

Recibido para publicación: 6-VII-78

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 ***

SUMMARY

INVESTIGATIONS ON SOME PHYSIOLOGICAL FACTORS THAT DETERMINE THE PRODUCTIVE CAPACITY OF WHEAT PLANTS. I. INTERACTION BETWEEN APPLICATIONS OF NITROGEN FERTILIZERS AND DUSTED ELEMENTAL SULPHUR AT TILLERING STAGE

It has been observed an increase in the yield of several crops by applying powdered elemental sulphur on their leaf surfaces. Such an event clearly indicated the existence of one effect of not understood nature and characteristics which is associated with elemental sulphur treatments. On the other hand, it has been demonstrated that sulphur applied in such a way, is able to take part in the plant protein metabolism. This paper studies the effect of powdered sulphur application on wheat plants growing in Mitscherlich pots, under such conditions, that neither water nor light were growth limiting factors. The following treatments were applied using a factorial design ($2 \times 2 \times 4$): two types of nitrogen fertilizers (urea and ammonium nitrosulphate); two rates of nitrogen fertilizer applied ($20 + 20 = 40$ Kg/Ha and $40 + 40 = 80$ Kg/Ha) at sowing and tillering stages; and four sulphur treatments (one without sulphur (control) and three sulphur applications: at tillering time, 10 and 20 days later).

Under experimental conditions, nitrogen produced little effect, irrespectively of fertilizer or dose used. On the contrary, sulphur treatments determined a substantial increase in the yield, reaching the optimum, when sulphur was applied 10 days later of tillering stage. The increase in yield was mainly due to the increase in the number of grains per ear.

INTRODUCCIÓN

La posibilidad de que el azufre elemental —finamente dividido y depositado sobre la superficie de las hojas— pueda intervenir en el metabolismo de la planta y modificar su rendimiento, es un tema que ha venido preocupando a nuestro grupo de trabajo desde hace una década.

* Este trabajo es parte de la tesis doctoral del primero de los autores.

** Profesor Agregado Interino del Departamento de Fisiología Vegetal de la Universidad de Granada.

*** Investigador Científico. Sección de Fisiología Vegetal. Estación Experimental del Zaidín (C. S. I. C.). Granada.

En 1968, Recalde y Martín (13) observaron menor fructificación al sustituir —en el tratamiento de las plagas del olivo— ciertos pesticidas, en cuya formulación intervenía el azufre elemental, por otros de tipo orgánico; no obstante la mayor eficacia plaguicida de estos últimos. La observación anterior, indicaba claramente la existencia de un efecto, de naturaleza y características desconocidas, asociado a los tratamientos con azufre elemental.

La floración y fructificación resultan procesos extraordinariamente azarosos en el olivo. Aparte de causas genéticas o fitopatológicas, tales resultados pueden achacarse a motivos fisiológicos: deficiencias hormonales o nutritivas.

Estudiando el fenómeno durante dos años (y en dos localidades distintas), se pudo llegar a las siguientes conclusiones:

a) Que el aumento de cosecha (más del 50 por 100) provocado por las aplicaciones de azufre elemental, sólo tenían lugar cuando éstas se realizaban antes de la antésis, pero no después de ella.

b) Que la causa determinante del aumento de cosecha se debía a un incremento de la floración (mayor número de flores por inflorescencia) y de la fructificación (mayor número de frutos por 100 flores); parámetros que poseían una fuerte correlación positiva y estadísticamente muy significativa con la cosecha.

Posteriormente, en 1973, Manuel Arrando (9) observó, en experimentos de campo, que la aplicación de azufre en la etapa de «encañado-espigado» determinaba aumentos importantes de la cosecha en el trigo (del orden del 40 por 100); y que la respuesta al azufre parecía depender de las disponibilidades de nitrógeno. Sin embargo, este autor no estudió los parámetros determinantes de la cosecha, ignorando las causas que determinaron el incremento observado en la misma.

Resultados análogos —en 1974— obtuvo Lluch (8), aplicando azufre elemental sobre hojas de plantas de judía, y repitiendo la aplicación en etapas sucesivas de su desarrollo. Pudiendo observar incrementos considerables en el tamaño de las plantas, en el número de sus flores y frutos, y en la cosecha final.

Por último, en 1975, pudimos confirmar la acción estimulante de las aplicaciones de azufre en polvo en los cultivos de trigo (12); estímulo que potencializó el efecto producido por el nitrógeno, y determinó aumentos considerables en el contenido proteínico del grano.

Partiendo de estos antecedentes, nos propusimos analizar el efecto de la aplicación foliar de azufre elemental, sobre los parámetros determinantes de la cosecha del trigo, y averiguar sus mecanismos causales.

MATERIAL Y MÉTODOS

1. *Cultivo*

1.1. *Macetas*

Se emplearon los típicos tiestos de Mitscherlich, aunque modificando su técnica; en el sentido de diluir el suelo con el 50 por 100 de arena de cuarzo.

1.2. *Preparación del suelo*

Para cada tiesto se pesaron 3 Kg de suelo, previamente homogeneizado, secado al aire y tamizado (a través de criba con orificio de 8 mm). El suelo, así preparado, se mezcló con su peso de arena de cuarzo, lavada y tamizada (con un tamaño de partícula no superior a los 2 mm). Por último, se añadió a la mezcla de suelo y arena (mediante una pipeta) las soluciones nutritivas que constituían el abonado de base o de sementera (mezclando bien el conjunto de suelo, arena y fertilizante).

1.3. *Preparación del tiesto*

Se tararon —a un mismo peso— todos los tiestos, añadiendo arena gruesa en su fondo hasta conseguirlo. Sobre ella se colocó el medio de cultivo, preparado tal como se indica en el párrafo anterior.

Para completar el sistema de cultivo, se instalaron dos tubos de plástico (que desde la superficie alcanzaban el nivel inferior). Su objeto fue permitir la adición de agua, de tal forma, que se consiguiera saturar la zona inferior y suministrar al resto del suelo, por capilaridad, la humedad necesaria.

1.4. *Siembra*

La semilla fue imbibida en agua durante seis horas, a una temperatura de 20° C y, posteriormente, sembrada en una proporción de 30 semillas por tiesto.

1.5. *Germinación y brotación*

Los tiestos, una vez sembrados, fueron mantenidos en el invernadero a una temperatura nocturna de $18 \pm 2^\circ$ C y diurna de $24 \pm 2^\circ$ C por espacio de diez días, hasta la nascencia de las plántulas. Transcurridos otros diez días, las macetas fueron trasladadas a su localización definitiva, al mismo tiempo que se reducía el número de plántulas a 15 por tiesto (equivalentes a una densidad de siembra de 480 plantas por metro cuadrado).

1.6. *Localización e iniciación del cultivo*

Los tiestos se situaron sobre soportes metálicos (que los aislaban del suelo) y se localizaron bajo cubierta (de fibra de vidrio) en una «estructura» que los protegía (lateralmente mediante una valla de alambre) del ataque de los pájaros, al mismo tiempo que permitía una temperatura y humedad atmosférica muy parecidas a las del aire libre.

El cultivo se inició el 19 de diciembre de 1975 y finalizó el 7 de julio de 1976. Durante el mismo se fue añadiendo, en forma sucesiva, la cantidad de agua necesaria a cada tiesto para mantener el suelo con una humedad que correspondía —aproximadamente— a su capacidad de campo (calculada sobre la evapotranspiración observada en cada período). Al final, todos los tiestos habían recibido la misma cantidad de agua: equivalente a una precipitación de 600 mm.

2. Diseño experimental

2.1. Factores invariantes

a) *Suelo*.—Se empleó un *Vertisol*, cuyas características físicas y químicas se recogen en la tabla I.

TABLA I

Características de la variedad y suelo empleados

Variedad	Suelo
Denominación: Patricio	Tipo: Vertisol
<i>De la planta:</i>	<i>Físicas:</i>
Ahijado: Mediano	Arena %: 23.6
Espigado: Semiprecoz	Limo %: 37.4
Maduración del grano: Rápida	Arcilla %: 39.0
Ciclo: Semilargo	Materia orgánica %: 1.37
	Caliza (CO ₂) %: 26.61
<i>Del grano:</i>	<i>Químicas:</i>
Textura: Semidura	N (mg/100 g): 103
Fractura: Semivitrea	P ₂ O ₅ »: 29.5
Calidad panadera: Excelente	K ₂ O »: 63.7
	S »: 1.68

b) *Variedad*.—Se utilizó la variedad *Patricio*, cuyas características se resumen en la tabla I.

c) *Condiciones climáticas*.—Las reinantes durante el cultivo se resumen en la tabla II.

TABLA II

Condiciones ambientales y riegos durante el periodo de cultivo

(Valores medios en cada período)

Período	Temperatura			Humedad relativa media %	Precipitación	Riegos ml/maceta
	Máx.	Mín.	Med.			
3. ^a decena de						
Diciembre 75	11.8	1.1	6.5	85	0	750
Enero 76	11.9	0.1	6.0	70	43.3	1050
Febrero 76	12.5	4.6	8.5	72	25.1	1050
Marzo 76	15.1	4.5	9.8	63	34.0	2300
Abril 76	14.7	6.9	10.8	70	85.3	2500
Mayo 76	21.6	11.5	16.6	64	39.3	4500
Junio 76	29.6	15.7	22.6	49	12.6	2000
1. ^a decena de						
Julio 76	29.8	17.1	23.5	48	6.0	0

d) *Tipo de fertilizante nitrogenado y fosforado aplicado en sementera.*—Fosfato amónico y urea.

e) *Tipo y dosis de fertilizante potásico aplicado en sementera.*—Cloruro potásico, en proporción de 40 Kg/Ha. de K_2O .

f) *Dosis de fertilizante fosforado.*—60 Kg/Ha. de P_2O_5 .

2.2. Factores variantes

a) *Tipo de fertilizante nitrogenado aplicado en cobertera (TF).*—En el ensayo A, urea (U); y en el ensayo B, nitrosulfato amónico (NSA).

b) *Dosis de nitrógeno (sementera + cobertera) (DN).*—Dosis simple (N_1) = 20 + 20 = 40 Kg/Ha. de N; dosis doble (N_2) = 40 + 40 = 80 Kg/Ha. de N.

c) *Época de aplicación foliar de azufre elemental, en proporción de 50 Kg/Ha. (EAA).*—Tratamiento (S_0), correspondiente al testigo, sin aplicación de azufre; tratamiento (S_a), aplicación de azufre coincidente con la del nitrógeno en cobertera; tratamiento (S_b), aplicación de azufre diez días después del (S_a), y tratamiento (S_c), aplicación de azufre veinte días después de (S_a).

2.3. Combinación de los factores variantes

Se combinaron de forma factorial: 2 tipos de fertilizantes nitrogenados (TF) × 2 dosis de nitrógeno (DN) × 4 aplicaciones de azufre (EAA), produciendo un total de 16 tratamientos diferentes, que

fueron repetidos 4 veces, originando 64 parcelas (tiestos). En el cuadro inferior se resume el diseño factorial empleado y que acabamos de describir.

T. F.	Urea		Nitrosulfato amónico	
D. N.	N ₁	N ₂	N ₁	N ₂
	S ₀	S ₀	S ₀	S ₀
	S _a	S _a	S _a	S _a
E. A. A.	S _b	S _b	S _b	S _b
	S _c	S _c	S _c	S _c

RESULTADOS

En el trigo, los parámetros determinantes de la cosecha de grano son los siguientes (17, 19):

a) *La capacidad del área cultivada*

Determinadas por el número de espigas existentes por unidad de superficie cultivada; en nuestro caso, por el número de espigas por tiesto (que a su vez, depende del número de tallos por tiesto y del porcentaje de tallos espigados).

b) *La capacidad de la espiga*

Definida por el número de granos por espiga.

c) *La capacidad del grano*

Indicada por el peso de 1.000 granos.

Por esta razón, incluimos en las tablas de resultados (junto con los de cosecha) los parámetros que la determinan.

La cosecha de grano puede aumentar al incrementarse cualquiera de estos parámetros: separada o combinadamente. Sin embargo, con mucha frecuencia el incremento de uno de ellos determina la disminución de otro (21). Tal cosa sucede, porque la magnitud de cada uno de ellos (aunque no de forma totalmente independiente) se determina en etapas diferentes de la evolución del cultivo.

1. Efecto del tipo de fertilizante nitrogenado utilizado en cobertera (T. F.)

En la tabla III podemos observar que prácticamente se produce la misma cosecha en los dos ensayos (A y B); no produciendo efecto alguno el tipo de fertilizante nitrogenado aplicado en cobertera (urea en el ensayo A y nitrosulfato amónico en el ensayo B). Igualmente ocurre con los valores que presentan los parámetros determinantes de la cosecha. Por otro lado, las pequeñas diferencias observadas carecen totalmente de significación estadística (tabla III).

TABLA III

Resumen del análisis de la varianza de la cosecha y de sus parámetros determinantes (Ensayos A y B)

Fuentes de variación	Grados de libertad	Significación estadística (Valores de F)				
		Tallos/tiesto		N.º granos espiga	Peso 1000 granos	Cosecha Kg/Ha.
		Total	% Espig.			
Total	63	—	—	—	—	—
Repeticiones	3	3.92**	0.97	2.84**	0.22	2.47
Tratamientos	15	4.85****	4.13****	3.54****	4.20****	5.44****
Tipo Fertil. (TF)	1	0.94	0.71	0.37	1.69	0.27
Dosis Nitr. (DN)	1	43.0****	25.8****	13.1****	24.9****	3.19*
Ep. Apl. Az. (EAA)	3	2.65*	1.91	6.00***	0.71	17.8****
TF × DN	1	10.9***	0.87	4.89**	3.10*	6.90**
TF × EAA	3	0.32	1.27	0.002	4.50***	4.90***
DN × EAA	3	2.66*	1.88	1.62	5.11***	0.48
TF × DN × EAA	3	0.32	6.45****	3.94**	0.76	0.55
Error	45	—	—	—	—	—

99,9 por 100 (****). Probabilidad: 90 por 100 (*); 95 por 100 (**); 99 por 100 (***);

2. Efecto de la dosis total de nitrógeno aplicado en la fertilización de sembradura y cobertera (D. N.)

Existe una pequeña diferencia (*) entre las cosechas obtenidas por los dos niveles de aplicación nitrogenada (N_2 y N_1), tal como podemos observar en la tabla IV. Los parámetros determinantes de la cosecha muestran diferencias significativas (en la comparación N_2 versus N_1);

que oscilan entre un 10 y un 25 por 100. Sin embargo, los efectos positivos sobre la cosecha (porcentaje de tallos espigados y número de granos por espiga) se equilibran con los efectos negativos (número de tallos por tiesto y peso del grano), de tal forma, que su efecto sobre la cosecha resulta muy débil. Así, existe una disminución en el número total de tallos por tiesto (****), compensada por un incremento en el porcentaje de tallos espigados (****); e igualmente, existe una disminución en el peso de los granos (****) equilibrada por un incremento en el número de granos por espiga (****).

TABLA IV

Resultados de la cosecha y sus parámetros determinantes (media de 32 parcelas)

Entre paréntesis los resultados expresados en porcentaje del testigo (N_1)
Ensayos A y B. Efecto (DN)

Nivel de nitrógeno	Tallos/tiesto		Número granos espiga	Peso 1000 granos	Cosecha Kg/Ha.
	Total	% Espig.			
N_1	42.7	44.9	8.9	41.8	2184
	(100)	(100)	(100)	(100)	(100)
N_2	33.6	55.3	11.3	37.0	2351
	(79)****	(123)****	(126)****	(89)****	(108)*

3. Efecto de la aplicación de azufre elemental finamente pulverizado sobre las hojas (E. A. A.)

Como podemos observar, en la tabla V existe una gran respuesta de la cosecha a las aplicaciones de azufre (S_0 versus S_a , S_b y S_c); tal respuesta resulta muy significativa (****), adquiriendo su máxima magnitud en la aplicación correspondiente a la época intermedia de tratamiento (S_b).

Examinando los valores de los parámetros determinantes de la cosecha, podemos concluir que tal respuesta se debe —especialmente— a un incremento (estadísticamente significativo) del número de granos por espiga; y en menor proporción (y en forma no significativa) a un aumento en el porcentaje de tallos espigados y en el peso de los granos. También se observa una ligera disminución (*) en el número total de tallos, en el tratamiento S_b (lo que constituye un factor positivo en la determinación de la cosecha).

TABLA V

Resultados de cosecha y sus parámetros determinantes (media 16 parcelas)

Los valores relativos expresados en porcentaje del testigo
Ensayos A y B. Efecto (EAA)

	Trat.	Tallos/tiesto		Número granos espiga	Peso 1000 granos	Cosecha Kg/Ha.
		Total	% Espig.			
Val. abs.	S ₀	38.7	47	8.4	38.3	1735
	S _a	39.5	51	9.8	39.8	2323
	S _b	34.8	53	12.2	40.1	2688
	S _c	39.6	48	10.1	39.6	2324
Val. rel.	S ₀	100	100	100	100	100
	S _a	102	112	129*	104	139****
	S _b	90*	114	157****	105	161****
	S _c	102	104	128*	103	140****

TABLA VI

Resultados de la cosecha y sus parámetros determinantes (media de 16 parcelas)

Entre paréntesis los resultados expresados en porcentaje del testigo (N₁)
Ensayos A y B (Efecto TF x DN)

Ensayo	Nivel de Nitrógeno	Tallos		Número gran. espiga	Peso 1.000 gran.	Cosecha Kg/Ha.
		Total	% espiga			
A	N ₁	44,3	46,7	8,0	43,2	2247
		(100)	(100)	(100)	(100)	(100)
A	N ₂	30,7	55,2	11,8	36,8	2240
		(69)****	(118)	(147)****	(85)****	(100)
A	—	37,5	50,9	9,9	40,0	2243
B	N ₁	41,1	43,2	9,8	40,4	2122
		(100)	(100)	(100)	(100)	(100)
B	N ₂	36,6	55,5	10,8	37,3	2462
		(89)**	(128)	(110)	(92)***	(116)***
B	—	38,8	49,3	10,3	38,8	2292

4. *Efecto de la interacción tipo de fertilizante nitrogenado por dosis total de nitrógeno aplicado (T. F. \times D. N.)*

En la tabla VI podemos observar que la dosis de nitrógeno (N_2 versus N_1) no incrementa la cosecha en el ensayo A (urea), pero sí en el B (nitrosulfato amónico); incremento que resulta estadísticamente significativo (***).

En los parámetros determinantes de la cosecha —observamos de nuevo— una relación antagónica: por una parte, entre el número total de tallos por tiesto y el porcentaje de tallos espigados; y por otra, entre el número de granos por espiga y el peso de los granos; de estas acciones contrapuestas, resultan los valores de cosecha antes citados.

5. *Efecto de la interacción tipo de fertilizante nitrogenado por aplicación de azufre por vía foliar (T. F. \times E. A. A.)*

Al examinar la respuesta de la cosecha a las aplicaciones de azufre —bajo condiciones diferentes de fertilización nitrogenada (ensayos A y B)— podemos observar (tabla VII) que los incrementos de cosecha son

TABLA VII

Resultados de la cosecha y sus parámetros determinantes (media de 8 parcelas)

Entre paréntesis los resultados expresados en porcentaje del testigo (S_0)
Ensayos A y B (Efecto TF \times EAA)

Ensayo	Epoca aplic. azufre	Tallos/tiesto		Número gran. espiga	Peso 1.000 gran.	Cosecha Kg/Ha.
		Total	% espiga			
A	S_0	37,7 (100)	49 (100)	9,5 (100)	39,2 (100)	2014 (100)
	S_a	40,0 (106)	50 (102)	8,6 (90)	43,0 (110)*	2257 (112)
	S_b	33,8 (90)	57 (116)	11,5 (121)**	39,5 (101)	2552 (126)***
	S_c	38,5 (102)	48 (98)	10,1 (106)	33,3 (98)	2151 (107)
B	S_0	39,7 (100)	45 (100)	7,3 (100)	37,4 (100)	1415 (100)
	S_a	39,0 (98)	52 (115)	10,9 (149)***	36,5 (97)	2389 (169)****
	S_b	35,8 (90)	50 (111)	12,9 (177)****	40,6 (108)*	2825 (199)****
	S_c	40,8 (103)	49 (109)	10,1 (138)***	40,7 (109)*	2496 (176)****

mayores, y estadísticamente más significativos, en el ensayo B que en el A; lo que cabe atribuir a las mejores condiciones nutritivas en las que han crecido las plantas de aquel ensayo (al recibir azufre por vía radical, procedente del nitrosulfato amónico). Como en casos anteriores, la causa del incremento de cosecha hay que buscarla en el aumento (estadísticamente significativo) del número de granos por espiga.

6. *Efecto de la interacción tipo de fertilizante nitrogenado por dosis de nitrógeno y por época de aplicación de azufre foliar (T. F. × D. N. × E. A. A.)*

Se observan importantes aumentos de cosecha (tablas VIII y IX) como respuesta a las aplicaciones por vía foliar de azufre elemental; estadísticamente significativas —en el ensayo A— para la dosis (N₁) y —en el ensayo B— para ambas dosis (N₁ y N₂).

Cabe destacar que con el tratamiento (B N₂ S_b) se obtiene la cosecha máxima absoluta (3.025 Kg/Ha.); lo que resulta de la combinación de tres efectos individuales favorables: un fertilizante nitrogenado conte-

TABLA VIII

Resultados de la cosecha y sus parámetros determinantes (media de 4 parcelas)

Entre paréntesis los resultados expresados en porcentaje del testigo (S₀)

Ensayo A (Efecto TF × EAA × DN)

Ensayo	Epoca aplic.	Tallos		Número gran. espiga	Peso 1.000 gran.	Cosecha Kg/Ha.
		Total	% espiga			
A (N ₁)	S ₀	46,7	39	7,1	43,9	1823
		(100)	(100)	(100)	(100)	(100)
	S _a	44,7	54	6,7	43,4	2201
		(95)	(138)***	(94)	(99)	(121)**
S _b	43,5	49	9,2	42,7	2602	
	(93)	(126)*	(130)	(97)	(143)****	
S ₀	42,5	45	9,2	43,0	2361	
	(91)	(115)	(130)	(98)	(129)***	
A (N ₂)	S ₀	28,7	59	11,9	34,6	2205
		(100)	(100)	(100)	(100)	(100)
	S _a	35,3	46	10,6	42,7	2313
		(123)	(78)*	(89)	(123)	(105)
S _b	24,2	65	13,9	36,3	2502	
	(84)	(110)	(117)	(105)	(113)	
S ₀	34,5	51	11,0	33,7	1941	
	(120)	(86)	(92)	(97)	(88)	

niendo azufre (B); una dosis doble de nitrógeno en sementera y cobertura (N_2) y la aplicación de azufre por vía foliar en la época más favorable (S_b).

TABLA IX

Resultados de la cosecha y sus parámetros determinantes (media de 4 parcelas)

Entre paréntesis los resultados expresados en porcentaje del testigo (S_0)
Ensayo B (Efecto TF \times EAAA \times DN)

Ensayo	Epoca aplic.	Tallos		Número gran. espiga	Peso 1.000 gran.	Cosecha Kg/Ha.
		Total	% espiga			
B (N_1)	S_0	43,7 (100)	47 (100)	5,3 (100)	33,2 (100)	1294 (100)
	S_a	41,0 (94)	43 (91)	12,4 (234)****	35,3 (92)	2346 (181)***
	S_b	39,0 (89)	40 (85)	12,7 (240)****	42,6 (112)	2626 (203)****
	S_c	40,7 (93)	43 (91)	9,1 (172)**	45,5 (119)	2221 (172)****
B (N_2)	S_0	35,7 (100)	44 (100)	9,4 (100)	36,6 (100)	1618 (100)
	S_a	37,0 (103)	62 (141)***	9,4 (100)	37,8 (103)	2432 (150)****
	S_b	32,7 (92)	60 (136)***	13,2 (140)**	38,7 (106)	3025 (187)****
	S_c	41,0 (115)	56 (127)**	11,2 (119)	36,0 (99)	2772 (171)****

DISCUSIÓN

El principal proceso limitante y competitivo, en cualquier cultivo, es indudablemente la fotosíntesis, cuya intensidad está principalmente determinada por la extensión que alcanza el área foliar (índice del área foliar) en cada etapa de su desarrollo. Según crece el índice del área foliar (IAF), aumenta la interceptación de la luz, que llega a sobrepasar el 95 por 100 en la mayoría de los cultivos de cereales (cuando el IAF se aproxima a un valor de 4). Sin embargo, en nuestras condiciones experimentales, la luz no fue, con toda seguridad, un factor limitante de la cosecha.

Las disponibilidades de luz, agua y nitrógeno, así como el nivel de temperatura, interaccionan entre sí durante el período de crecimiento vegetativo (23). Cuando —por riego o lluvia— aumenta la humedad del suelo, la cosecha crece; efecto que se debe, principalmente, al aumen-

to del número de tallos y del porcentaje de tallos espigados (4, 18). Sin embargo, la irrigación puede también disminuir la cosecha (2), cuando las disponibilidades de nitrógeno no limitan el crecimiento de las hojas, bien porque al aumentar el ahijamiento y la superficie transpirante se produce una pérdida de agua excesiva (3, 22), bien porque al aumentar el número de tallos secundarios disminuye el porcentaje de los espigados por un déficit interno de hidratos de carbono (2, 18, 25); lo que, a su vez, determina un menor número de espigas por unidad de superficie. Tampoco en nuestras condiciones experimentales el agua fue un factor limitante.

Se ha observado que un incremento progresivo de las disponibilidades de nitrógeno —durante el período de ahijamiento— determina un aumento de cosecha hasta llegar a un cierto punto, pasado el cual la deprime (7, 15). Se ha sugerido que la causa es la existencia de una concentración crítica de nitratos en las hojas (10); y la interacción de efectos favorables y desfavorables al aumentar las disponibilidades de nitrógeno (14).

Respecto a la relación de las disponibilidades de nitrógeno con otros factores, parece que el agua (1, 5, 16, 20) y la luz son los principales factores que interaccionan en la respuesta del nitrógeno.

En nuestros resultados, se observa muy claramente que la dosis doble de nitrógeno (N_2), al mismo tiempo que incrementa el porcentaje de tallos espigados, disminuye el número de tallos por tiesto, lo que viene a demostrar que el desarrollo inicial de la espiga inhibe el desarrollo de nuevas ramificaciones en el tallo (ahijamiento), lo que puede deberse, como antes indicamos, a que el crecimiento de la espiga origina una competencia interna por los hidratos de carbono (2, 18, 25), y también a que —a través de una interacción hormonal— el desarrollo de la espiga en el ápice de un tallo, inhiba el crecimiento de las restantes yemas (6).

Como consecuencia del trabajo fundamental de Watson, en 1956 (24), sobre la importancia del área foliar en relación con la cosecha, se ha venido considerando a la «magnitud del sistema fotosintético» como el mayor determinante de la producción de grano (21). Sin embargo, en época reciente, se han ido acumulando pruebas de que «la cantidad de fotosintetizado» puede exceder de la «demanda» del grano en crecimiento. En consecuencia, la capacidad de la espiga para aceptar las sustancias asimiladas, puede ser de mayor importancia que la cantidad de éstas suministrada por el sistema fotosintetizador, ya que la intensidad de la fotosíntesis en las hojas, puede aumentar o disminuir como respuesta a la demanda interna de «fotosintetizados» (11).

Así, la capacidad de almacenamiento de la espiga es frecuentemente la causa limitante de la cosecha, y depende de los parámetros: el número de granos por espiga y el peso medio de los granos.

Las espectaculares respuestas obtenidas por nosotros, con las aplicaciones foliares de azufre elemental, parecen deberse precisamente a un aumento en la capacidad de almacenamiento de la espiga (expresada por un aumento en el número de granos por espiga), que llega casi a duplicarse, cuando los factores nutricionales son favorables, como ocurre en el ensayo B y dosis sencilla de nitrógeno (N_1).

RESUMEN

Se han observado incrementos en la cosecha de varios cultivos aplicando azufre elemental finamente pulverizado sobre las hojas. Tal hecho indica claramente la existencia de un efecto de naturaleza y características desconocidas asociado a los tratamientos de azufre elemental. Por otro lado, se ha demostrado que el azufre —así aplicado— es capaz de intervenir en el metabolismo proteínico de la planta. Parecía interesante estudiar el efecto de las aplicaciones foliares de azufre sobre plantas de trigo cultivadas en tiestos Mitscherlich, bajo condiciones en las que, ni la luz ni el agua, eran factores limitantes de su crecimiento. Para ello se sometieron a los siguientes tratamientos, combinados de forma factorial: dos tipos de fertilizantes nitrogenados (urea y nitrosulfato amónico), dos niveles de nitrógeno ($20 + 20 = 40$ Kg/Ha y $40 + 40 = 80$ Kg/Ha) en semenera y cobertera, y cuatro tratamientos de azufre (sin aplicación, coincidiendo con la aplicación de nitrógeno en cobertera, diez días después y veinte días después).

En las condiciones experimentales, las diferencias debidas a la dosis o al tipo de fertilizante nitrogenado, producen pequeñas variaciones de cosecha; por el contrario, las aplicaciones de azufre determinan un considerable incremento de cosecha, que alcanza el óptimo con la aplicación realizada diez días después de la de nitrógeno en cobertera. El incremento de cosechas se debió exclusivamente a un aumento en el número de granos por espiga.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) DOUGHERTY, C. T. y LANGER, R. H. M. (1974). An analysis of a nitrogen-induced depression of yield in irrigated. «Kopara» wheat. N. Z. J. Agric. Res., 17, 325-331.
- (2) DOUGHERTY, C. T., SCOTT, W. R., LANGER, R. H. M. y MEIJER, G. (1974). (Cit. Dougherty, C. T. y Langer, R. H. M., 1974, Op. cit., núm. 1), N. Z. J. Agric. Res., 17, 241-249.
- (3) DREWITT, E. G. (1973). (Cit. Dougherty, C. T. y Langer, R. H. M., 1974, Op. cit. núm. 1). Annual Report of Research Division. N. Z. Ministry of Agriculture and Fisheries, 1971-72, 194-195.
- (4) DREWITT, E. G. y RICKARD, D. S. (1971). (Cit. Dougherty, C. T. y Langer, R. H. M., 1974, Op. cit. núm. 1). Proc. Agron. Soc. of N Z., 1, 147-157.
- (5) HUTCHEON, W. L. y PAUL, E. A. (1966). Control of protein content of Thatcher wheat by N fertilization and moisture stress. Can. J. Soil Sci., 46, 101-108.
- (6) JEWISS, O. R. (1972). Tillering in grasses. Its significance and control. J. Brit. Grassl. Soc., 27, 65-82.
- (7) JOHSON, V. A., DREIER, A. F. y GRABOUSKI, P. H. (1973). Yield and protein responses to nitrogen fertilizer of two winter wheat varieties differing in inherent protein content of their grain. Agron. J., 65, 259-263.
- (8) LLUCH PLA, C. (1974). Aspectos microbiológicos y fisiológicos de la utilización del azufre como fertilizante por vía foliar. Memoria de tesis doctoral. Facultad de Farmacia. Universidad de Granada, 237.
- (9) MANUEL ARRANDO, M. (1973). Efecto de la aplicación de azufre elemental y nitrógeno sobre la cosecha y contenido proteico del grano de trigo. Memoria de tesis doctoral. Facultad de Farmacia. Universidad de Granada, 194.
- (10) POJANEE LAPIROJANA, ROBERTS, S. y DAWSON, M. D. (1972). Nitrogen nutrition and yield relations of Nugaines winter wheat. Agron. J., 64, 571-573.
- (11) RAWSON, H. M. y BREMNER, P. M. (1967). Crop Physiology. U. S. Gupta ed. IBH and Oxford, New Delhi.
- (12) RECALDE MANRIQUE, L. (1975). Efecto de la aplicación de azufre elemental y nitrógeno tardío sobre la cosecha, contenido proteico y aminoácidos del grano de trigo. Memoria de Licenciatura. Facultad de Farmacia. Universidad de Granada, 58.
- (13) RECALDE MARTÍNEZ, L. y 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 y Mediterráneo sobre Nutrición Vegetal, 235-241.

- (14) RIES, S. K., MORENO, O., MEGGITT, W. F., SCHWEIZER, C. J. y ASHKAR, S. A. (1970). Wheat seed protein: chemical influence on and relationship to subsequent growth and yield in Michigan and Mexico. *Agron. J.*, 62, 746-748.
- (15) ROBERTS, S. et al. (1972). Fertilizer experiments with winter wheat in Western Oregon. *Oregon Agr. Exp. Sta. Tech. Bull.*, 121.
- (16) RUSSELL, J. S. (1964). Some observations on the influence of nitrogen fertilizer applied at seeding on the nitrogen content of wheat grain. *Aust. J. Exp. Agric. An. Husb.*, 4, 345-351.
- (17) SCHLEHUBER, A. M. y TUCKER, B. B. (1967). Culture of wheat. In: *Wheat and wheat improvement. Agronomy No. 13.* Amer. Soc. Agronomy, Madison, Wis., USA, Edit. Quisenberry, K. S. y Reitz, L. P., 117-179.
- (18) SCOTT, W. R., DOUGHERTY, C. T., LANGER, R. H. M. y MEIJER, G. (1973). (Cit. por Dougherty, C. T. y Langer, R. H. M. In: *An analysis of a nitrogen-induced depression of yield in irrigated «Kopara» wheat, 1974, N. Z. J. Agric. Res.*, 17, 325-331.) *N. Z. J. of Exper. Agric.*, 1, 369-376.
- (19) SPRATT, E. D. y GASSER, J. K. R. (1970). Effects of fertilizer nitrogen and water supply on distribution of dry matter and nitrogen between the different parts of wheat. *Can. J. Plant Sci.*, 50, 613-625.
- (20) TERMAN, G. L., RAMIG, R. E., DREIER, A. F. y OLSON, R. A. (1969). Yield-protein relationships in wheat grain, as affected by nitrogen and water. *Agron. J.*, 61, 755-759.
- (21) THORNE, G. N. (1966). Physiological aspects of grain yield in cereals. In: *The growth of cereals and grasses.* Eds. Milthorpe, F. L. e Ivins, J. A. Butterworths, London), 88-105.
- (22) WALKER, T. W. (1956). (Cit. por Dougherty, C. T. y Langer, R. H. M. In: *An analysis of a nitrogen-induced depression of yield in irrigated «Kopara» wheat, 1974, N. Z. J. Agric. Res.*, 17, 325-331.) *N. Z. Wheat Rev.*, 6, 35-39.
- (23) WARDLAW, I. F. (1967). The effect of water stress on translocation in relation to photosynthesis and growth. I. Effect during grain development in wheat. *Aust. J. Biol. Sci.*, 20, 25-39.
- (24) WATSON, D. J. (1956). Leaf growth in relation to yield. In: *The growth of leaves.* Ed. Milthorpe, F. L., Butterworths, London, 178-191.
- (25) WILLEY, R. W. y HOLLIDAY, R. (1971). (Cit. por Dougherty, C. T. y Langer, R. H. M. In: *An analysis of a nitrogen-induced depression of yield in irrigated «Kopara» wheat, 1974, N. Z. J. Agric. Res.*, 17, 325-331.) *J. of Agric. Sci.*, 77, 453-461.

Recibido para publicación: 22-III-79

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 ENCANADO (COBERTERA TARDIA)

por

L. RECALDE MANRIQUE (**) y M. GOMEZ ORTEGA (***)

SUMMARY

INVESTIGATIONS ON SOME PHYSIOLOGICAL FACTORS THAT DETERMINE THE PRODUCTIVE CAPACITY OF WHEAT PLANTS. II. INTERACTION BETWEEN FOLIAR APPLICATIONS OF UREA AND DUSTED ELEMENTAL SULPHUR AT SHOOTING STAGE

It has been reported that foliar application of urea on wheat plants before flowering, produced a yield increase. Keeping in mind the results from the first paper of this series, it seemed interesting to study the possible interaction between foliar applications of urea and powdered elemental sulphur. The experiment was carried out in Mitscherlich pots and neither water nor light were limiting factors. Urea was applied to leaves weekly at four levels: untreated (control), only one application (5 Kg/Ha), two applications (5 + 5 = 10 Kg/Ha) and three applications (5 + 5 + 5 = 15 Kg/Ha). These treatments were combined by factorial design (4 × 3) with three powdered elemental sulphur applications: one untreated (control), only one application coinciding with the first urea treatment; and one application 6 days later of finishing the urea applications. The results showed a great response in grain yield to the sulphur application, being the greatest in the second application; response to urea applications was also obtained, but only in absence of sulphur applications. A negative interaction between sulphur and urea treatments was proved, which suggests that its activity is complementary and mutually excluyent. Increases in yield can be mainly explained by the increase in the number of grains per ear and, in less extent, by increasing in grain weight.

INTRODUCCIÓN

La aplicación de urea por vía foliar ha despertado el interés de los investigadores en los últimos años. La urea se hidroliza por la ureasa (4) en amoníaco y anhídrido carbónico, que penetran por los esto-

(*) Este trabajo es parte de la tesis doctoral del primero de los autores.

(**) Departamento de Fisiología Vegetal. Universidad de Granada.

(***) Sección de Fisiología Vegetal. Estación Experimental del Zaidín (C. S. I. C.), Granada.

mas (5), aunque también pueden hacerlo por otras regiones de la planta (22). La absorción —que es muy rápida en las primeras horas— continúa por espacio de dos días (2).

Cuando se pulveriza, con soluciones diluidas de urea, las hojas de la planta de trigo (3), en un período comprendido entre siete semanas antes de la floración y cuatro después de ella, se obtienen considerables aumentos en la cosecha de grano (32 por 100), como han corroborado diversos investigadores (6, 11, 12); también aumenta el contenido proteínico del grano (3, 6, 8, 11, 13). Sin embargo, este último efecto, no sólo depende de la concentración de urea empleada (de 1 a 12 por 100), sino del número de aplicaciones (13), y de la época en que se realizaron. En efecto, cuando la urea se aplica antes de la floración, aumenta la cosecha, pero no el contenido proteínico del grano (14); mientras que cuando se hace en floración (11), o después de ella (12), sucede lo inverso.

Los resultados antes indicados se explican (13) por un aumento en el número de granos que forman la espiga, y en el peso de los granos obtenidos; lo que parece deberse a la mayor disponibilidad de nitrógeno durante la fase de reproducción (11). Sin embargo, la aplicación de urea foliar no parece aumentar el total de materia seca producido por la planta (*cosecha biológica*), pero sí contribuye a incrementar la actividad fotosintética durante el período de formación de la espiga (9), y a prolongar la vida funcional de las hojas (17).

Teniendo en cuenta este conjunto de hechos, y los resultados obtenidos por nosotros en la segunda nota de esta serie (10), nos pareció interesante estudiar el efecto que sobre la cosecha grano y sus parámetros determinantes pudiera tener la aplicación (tardía) de urea foliar y su interacción con la aplicación (también foliar) de azufre elemental.

MATERIAL Y MÉTODOS

El cultivo se realizó en tiestos de Mitscherlich, siguiendo exactamente la metodología ya descrita en la nota primera de esta serie. El cultivo se inició el 30 de enero de 1976 y finalizó el 30 de junio del mismo año. Durante el mismo, se añadió la cantidad de agua necesaria a cada tiesto para mantener el suelo con una humedad que correspondía —aproximadamente— a su capacidad de campo.

Diseño experimental

Factores invariantes

a) *Suelo*.—Se empleó un *Cambisol*, cuyas características físicas y químicas se recogen en la tabla I.

b) *Variedad*.—Se utilizó la variedad *Mara*, cuyas características se resumen en la tabla I.

TABLA I

Características de la variedad y suelo empleados
(Ensayo C)

Variedad	Suelo	
Denominación: <i>Mara</i>	Tipo: <i>Cambisol</i>	
DE LA PLANTA:	FÍSICAS:	
Ahijado: Mediano	Arena %:	22.0
Espigado: Precoz	Limo %:	65.2
Ciclo: Semicorto	Arcilla %:	12.8
	Mat. orgánica %:	1.52
	Caliza (CO ₂) %:	27.6
DEL GRANO:	QUÍMICAS:	
Textura: Blanda	N (mg/100 g)	99
Fractura: Harinosa	P ₂ O ₅ (mg/100 g)	12.3
Calidad panadera: Mediana	K ₂ O	50.1
	S	0.72

c) *Condiciones climáticas.*—Las reinantes durante el cultivo se resumen en la tabla II.

TABLA II

Condiciones ambientales y riegos durante el periodo de cultivo
(Valores medios de cada periodo)

Periodo	Temperatura °C			Humedad relativa media %	Precipita- ción	Riegos ml/maceta
	Máx.	Mín.	Med.			
3.ª decena de Enero 76 . . .	9.4	0.5	4.9	69.1	43.3	500
Febrero 76	12.5	4.6	8.5	72.0	25.1	650
Marzo 76	15.1	4.5	9.8	63.0	34.0	2300
Abril 76	14.7	6.9	10.8	70.0	85.3	2500
Mayo 76	21.6	11.5	16.6	64.0	39.3	4500
Junio 76	29.6	15.7	22.6	49.0	12.6	2000
1.ª decena de Julio 76	29.8	17.1	23.5	48.0	6.0	0

d) *Fertilización de base o de sementera.*—Se mezcló con el suelo,

antes de iniciar el cultivo; en las cantidades y tipos de fertilizantes que se indican a continuación:

Nutriente	Cantidad suministrada	Forma
Nitrógeno	30 Kg/Ha de N	Urea
Fósforo	80 » » P_2O_5	Fosfato amónico
Potasio	50 » » K_2O	Cloruro potásico

Factores variantes

a) *Fertilización foliar nitrogenada aplicada en cobertera tardía.*—Se utilizó para realizarla urea (de calidad foliar) en 4 niveles diferentes:

- N_0 sin aplicación de nitrógeno.
- N_1 una sola aplicación de urea foliar (5 Kg/Ha) en la época correspondiente a la fase de encañado (B-C₂ de Jonard).
- N_2 dos aplicaciones sucesivas de urea foliar (5 + 5 = 10 Kg/Ha), la primera coincidente con el tratamiento (N_1), y la segunda tres días después.
- N_3 tres aplicaciones sucesivas de urea foliar (5 + 5 + 5 = 15 Kg/Ha), la primera coincidiendo con la aplicación de (N_1), la segunda con (N_2), y la tercera tres días después de la anterior.

b) *Aplicación foliar de azufre elemental (en polvo).*—Se aplicaron tres tratamientos diferentes:

- S_0 sin aplicación de azufre.
- S_a una sola aplicación de azufre (50 Kg/Ha), coincidiendo con el tratamiento (N_1).
- S_b una sola aplicación de azufre (50 Kg/Ha), seis días después de terminadas las aplicaciones de nitrógeno.

Combinación de los factores variantes

La realización de este experimento se proyectó como un factorial de 4 niveles de aplicación nitrogenada por 3 niveles de aplicación azufrada, que producen un total de 12 tratamientos diferentes: que fueron repetidos 4 veces, originando 48 parcelas (tiestos). En el cuadro de la página siguiente se resume el diseño que acabamos de describir.

RESULTADOS

Cuando se considera el análisis de la varianza de la cosecha y de sus parámetros determinantes (tabla III), podemos observar que los tratamientos sólo producen variaciones significativas sobre la cosecha (****), el número de granos por espiga (****) y el peso medio de los granos (***), careciendo totalmente de efecto significativo sobre el número

Urea	N ₀	N ₁	N ₂	N ₃
	S ₀	S ₀	S ₀	S ₀
Azufre	S _a	S _a	S _a	S _a
	S _b	S _b	S _b	S _b

Nota.—La fase de encañado B-C₂ de Jonard, se caracteriza porque un determinado número de tallos herbáceos evolucionan desarrollando espigas terminales, mientras que otros, retrasan su crecimiento, para detenerlo después, sin llegar a florecer. Esta fase termina en el momento en que se diferencian los estigmas de las flores. Su duración en el trigo es poco variable, y oscila alrededor de los treinta días.

de tallos por planta y el porcentaje de tallos espigados. Tales resultados son perfectamente comprensibles, si tenemos en cuenta que los factores *variantes* se aplican una vez concluida la etapa de ahijamiento, y por tanto, sólo pueden afectar el desarrollo de la espiga (y con él, a los parámetros que la modifican).

TABLA III

Resumen del análisis de la varianza de la cosecha y de sus parámetros determinantes (Ensayo C)

Fuentes de variación	Grados de libertad	Valores de F				
		Tallos/tiesto		N.º granos espiga	Peso 1000 granos	Cosecha Kg/Ha
		Total	% espiga			
Total	47	—	—	—	—	—
Repeticiones	3	2.81	0.50	6.63****	1.29	1.84
Tratamientos	11	1.49	1.16	9.24****	4.25***	25.65****
Azufre	2	5.63***	0.04	39.90****	19.78****	109.60****
Nitrógeno	3	0.14	0.83	2.21	0.39	2.15*
Azufre × Nitrógeno.	6	0.78	1.71	2.53*	0.99	6.07****
Error	33	—	—	—	—	—

Probabilidad: 90 por 100 (*); 95 por 100 (**); 99 por 100 (***); 99,9 por 100 (****).

Examinemos, en primer lugar, la respuesta de la cosecha grano a los tratamientos (tabla IV); los resultados expresados en valores absolutos (Kg/Ha) nos muestran que la cosecha se modifica, tanto por la aplicación foliar de urea, como de azufre elemental. Sin embargo, mien-

tras que el incremento de cosecha por las aplicaciones de urea es moderado (alcanzando su máximo con la segunda aplicación, para disminuir algo con la tercera), la aplicación de azufre produce un efecto espectacular (que llega a doblar la cosecha del testigo).

TABLA IV

Resultados de cosecha (media 4 repeticiones), en valores absolutos y relativos, en porcentajes de los niveles (S_0) y (N_0), respectivamente

(Ensayo C)

Valores absolutos Kg/Ha				
	S_0	S_a	S_b	\bar{x}
N_0	2237	4000	4692	3643
N_1	2800	4395	4438	3878
N_2	3419	4322	4239	3993
N_3	3042	4092	4225	3786
\bar{x}	2874	4202	4398	
Valores relativos: S_0				
N_0	100	179****	210****	
N_1	100	156****	158****	
N_2	100	126****	123****	
N_3	100	134****	138****	
\bar{x}	100	193****	157****	
Valores relativos: N_0				
N_0	100	100	100	100
N_1	125**	110*	94	110
N_2	153****	108	90**	117***
N_3	136****	102	90**	109

Cuando examinamos la respuesta de la cosecha a los tratamientos en términos relativos —referidos a nivel (S_0) o (N_0)— observamos que, en ambos casos, la mayor respuesta relativa se obtiene sobre el nivel testigo (N_0 en el primer caso, y S_0 en el segundo). Tal situación queda confirmada estadísticamente cuando examinamos las interacciones binarias que se producen entre los tratamientos de urea y azufre (tabla V), todas ellas de signo negativo (antagonismo), y en algunos casos de elevada magnitud. A igual conclusión llegamos al observar (en la tabla IV) los valores absolutos de cosecha, y comprobar que la cosecha máxima se obtiene con dos aplicaciones de urea (N_2), cuando no se aplica azufre (S_0); con una (N_1), cuando se aplica en la primera época (S_a); y con ninguna (N_0), cuando se aplica en la segunda (S_b). Así, llegamos a

T A B L A V

Resultados de las interacciones binarias entre los niveles de nitrógeno (N)
y los de azufre (S)

(Ensayo c)

Valores absolutos Kg/Ha			
Nivel de azufre	Nivel de nitrógeno		
	N ₁	N ₂	N ₃
S _a	— 62**	— 215***	— 178***
S _b	— 206***	— 410****	— 319***
Valores relativos a (N ₀ S ₀ = 100)			
S _a	— 3	— 10	— 8
S _b	— 10	— 18	— 14

T A B L A V I

Resultados del número de granos por espiga (media 4 repeticiones)

(Ensayo C)

	Valores absolutos Núm. granos/espiga			
	S ₀	S _a	S _b	\bar{x}
N ₀	15,9	23,7	27,4	22,3
N ₁	17,6	24,7	27,1	23,1
N ₂	22,8	25,7	25,9	24,8
N ₃	20,6	23,7	27,1	23,8
\bar{x}	19,2	24,4	26,8	
Valores relativos: S ₀				
N ₀	100	149****	172****	
N ₁	100	140****	154****	
N ₂	100	113*	114*	
N ₃	100	115*	132****	
\bar{x}	100	129****	143****	
Valores relativos: N ₀				
N ₀	100	100	100	100
N ₁	111	104	99	105
N ₂	143****	108	95	115
N ₃	130**	100	99	110

la conclusión de que los tratamientos de urea y azufre foliares son *complementarios*, y *mutuamente excluyentes* (para alcanzar la máxima cosecha que, potencialmente, permite el genotipo de la variedad utilizada).

La causa de las variaciones de cosecha originadas por los tratamientos —como antes dijimos— proceden de variación en el número de granos por espiga (tabla VI) y en el peso medio de los granos (tabla VII).

TABLA VII

Resultados (media de 4 repeticiones) de peso de los granos
(Ensayo C)

Valores absolutos: Peso de 1.000 granos (gramos)				
	S_0	S_a	S_b	\bar{x}
N_0	26,7	30,9	33,2	30,2
N_1	30,4	30,5	33,7	31,2
N_2	27,4	30,7	33,9	30,6
N_3	27,4	30,9	32,6	30,3
\bar{x}	27,9	30,7	33,1	
Valores relativos: S_0				
N_0	100	116****	124****	
N_1	100	100	108**	
N_2	100	112****	124****	
N_3	100	113****	119****	
\bar{x}	100	110***	119****	
Valores relativos: N_0				
N_0	100	100	100	100
N_1	114	99	96	103
N_2	103	99	102	101
N_3	103	100	96	100

Considerando el número de granos por espiga, podemos observar que éste aumenta de forma considerable por los tratamientos de azufre; y que tal incremento va disminuyendo por efecto de las sucesivas aplicaciones de urea —hasta alcanzar el mínimo con dos aplicaciones— para aumentar ligeramente después.

Respecto al efecto de las aplicaciones foliares de urea, vemos que sólo produce efectos positivos (estadísticamente significativos) en ausencia de aplicaciones de azufre (alcanzando su mayor efecto con la doble aplicación de urea (N_2)).

Los efectos de los tratamientos sobre el peso medio de los granos son aún más restringidos, ya que se reducen exclusivamente al aumento que producen las aplicaciones de azufre (tabla VII).

DISCUSIÓN

De los resultados que acabamos de exponer, y de los que presentamos en nuestra primera nota, se deduce claramente que el azufre —finamente pulverizado y aplicado sobre la superficie de las hojas en determinadas épocas del desarrollo del cultivo de trigo— produce importantes aumentos en la cosecha; debidos —principalmente— a un incremento en el número de granos por espiga y, de forma menos acusada, a un aumento en el peso medio de los granos.

La posibilidad de que el azufre elemental pueda intervenir en su metabolismo, depende de su grado de división. En efecto, se ha demostrado desde hace mucho tiempo (19), que la acción insecticida y fungicida del polvo de azufre, así como su toxicidad para las plantas superiores, depende del número de partículas por unidad de peso.

Aunque el azufre elemental es insoluble en el agua, y posee una escasa presión de vapor a la temperatura ordinaria, es capaz de combinarse con muchos elementos, así como oxidarse o reducirse fácilmente, pasando a formar moléculas —de tipo ácido— fácilmente solubles en el agua. Esto hace posible que el azufre elemental pueda intervenir en el metabolismo de las plantas tratadas. Sin embargo, tal posibilidad carecía de pruebas (1) hasta los trabajos de Turrell y sus colaboradores (20, 21).

Este grupo de investigadores partió para sus estudios de un hecho empírico: los cultivadores de cítricos en California venían observando que los árboles tratados con azufre elemental producían mayor cosecha y frutos de mejor calidad.

No se había comprobado que el azufre elemental aplicado sobre las hojas penetrara en ellas e interviniera en el metabolismo (1). Sin embargo, la vaporización del azufre elemental había sido demostrada a temperatura ordinaria (18); y posteriormente lo fue —con ayuda de polvo isotópicamente marcada (S^{35})—, ya que los vapores eran capaces de penetrar en frutos de limonero localizándose en su cáscara (21). Pero como tal penetración podía deberse a que el vapor de azufre se disolviera en la cera que recubre dichos frutos, se continuaron las investigaciones marcando isotópicamente, no sólo el polvo de azufre, sino también varios de sus compuestos: SH_2 , SO_2 y SO_4H_2 . Probándose, en todos los casos, la penetración del azufre y la producción de proteínas isotópicamente marcadas por él (19). Por otro lado, el polvo de azufre elemental radioactivo, depositado sobre la superficie de los frutos (e incubado a la temperatura ordinaria) producía cantidades apreciables de SH_2 y especialmente de SO_2 (20), radioactivos.

Por último, y teniendo en cuenta que, desde hace más de treinta años, Thomas había demostrado que el SO_2 puede ser absorbido y metabolizado por las plantas superiores (15, 16), y que desde entonces, se le ha reconocido como una importante fuente de azufre en la nutrición de los cultivos (7), sólo faltaba probar que el azufre depositado sobre la superficie de las hojas podía ser absorbido, como SO_2 , a través de los estomas. Así lo hicieron Turrell y Weber en 1955 (21), quienes pulverizaron, con azufre marcado isotópicamente, una rama de limonero

protegiendo otra (unida a la primera) con una bolsa de plástico transparente. Sus resultados fueron los siguientes:

a) Las proteínas de las hojas pulverizadas con azufre radioactivo, presentaban una elevada radioactividad específica, demostrando que el azufre elemental no sólo había penetrado en la hoja, sino intervenido en la síntesis de aminoácidos azufrados (que posteriormente formaron proteínas).

b) Las hojas no pulverizadas con azufre (y protegidas de toda contaminación por una bolsa de plástico transparente) no mostraron radioactividad en sus proteínas; pero sí, en cambio, una elevada actividad en sus extractos acuosos; lo que sugirió que el azufre era transportado, desde las hojas tratadas a las no tratadas, en forma inorgánica de sulfatos (responsables de la actividad observada en dichos extractos).

En resumen, las investigaciones que acabamos de relatar prueban, de forma incontrovertible, que el azufre elemental finamente dividido y depositado sobre las hojas de las plantas, puede ser absorbido y metabolizado, y que puede invocarse tal hecho para explicar su actividad biológica en fenómenos como los observados en nuestras investigaciones.

RESUMEN

Se ha demostrado que aplicando urea foliar al trigo antes de la floración, aumenta la cosecha. Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en la primera nota de esta serie, pareció interesante estudiar la interacción entre las aplicaciones foliares de urea y de azufre elemental pulverizado. El cultivo se realizó en tiestos Mitscherlich, sin que el agua ni la luz limitaran el crecimiento de las plantas. Se aplicó urea foliar, repitiendo la aplicación semanalmente en cuatro niveles diferentes: sin aplicación, una sola aplicación (5 Kg/Ha), dos aplicaciones (5 + 5 = 10 Kg/Ha), y tres aplicaciones (5 + 5 + 5 = 15 Kg/Ha). Los tratamientos anteriores se combinaron factorialmente con aplicaciones de azufre elemental pulverizado en tres épocas distintas: sin aplicación, con aplicación coincidiendo con el primer tratamiento de urea, y con aplicación seis días después de terminadas las aplicaciones de urea. Los resultados muestran una respuesta importante de la cosecha de grano a las aplicaciones de azufre, siendo esta respuesta mayor en la segunda época de aplicación; también se obtuvo respuesta a las aplicaciones de urea, pero sólo en ausencia de las aplicaciones de azufre. Se obtuvo una interacción negativa entre los tratamientos de urea y azufre, lo que sugiere que su acción es complementaria y mutuamente excluyente. Los incrementos de cosecha pueden explicarse por el aumento del número de granos por espiga, y, en menor medida, por el incremento del peso de los granos.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) ALBRITTON, E. C. (1953). Standard values in nutrition and metabolism. Amer. Inst. of Biolog. Science and National Research Council. Dayton, Ohio, USA.
- (2) COOK, J. A. y BOYNTON, D. (1952). Some factors affecting the absorption of urea by Mc Intosh apple leaves. Amer. Soc. Hort. Sci. Proc., 59, 82-90.
- (3) FINNEY, K. F. (1951). Results of spraying urea on wheat. Rep. Wheat Kernel Analysis Conf. Kansas State Coll.
- (4) HINSVART, O. N., WITTWER, S. H. y TUKEY, H. B. (1953). The metabolism of foliar-applied urea. I. Relative rates of $C^{14}O_2$ production by certain vegetable plants treated with labelled urea. Plant Physiol., 28, 70-76.
- (5) HORIE, K. (1956). The permeation of urea into leaf cells. II. Absorption of urea, in the dark. Sci. Rep. Hyogo Univ. Agr. Series, 2, 183-186.

- (6) JUÁREZ, C. L. y SWANSON, A. (1955). Foliar fertilization on wheat with urea. Inf. Estak Agr. La Molina, 29, 1-4.
- (7) KUHN, H. y FALLER, N. (1970). SO_2 in the atmosphere and its role in sulphur nutrition of plants. (In: Symp. Inter. sur le Soufre en Agr. Ed. INRA). Ann. Agron. N. Hors. Serie 1972.
- (8) KUTHY, S., FERENE, V. y BARTFAY, T. (1952). The effect of top dressed nitrogen on yield of cereals. Agrokem. Talajt, 1, 437-446.
- (9) PORTER, A. K., PAL, N. y MARTIN, R. V. (1950). Assimilation of carbon by the ear of barley and its relation to the accumulation of dry matter in grain. Ann. Bot. (Lond.), New Ser., 14, 307-310.
- (10) RECALDE MANRIQUE, L. y GÓMEZ ORTEGA, M. (1979). 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). Anal. Edaf. y Agrobiol XXXVIII, núm. 9-10, 1839-1854
- (11) REEVES, J. T. (1954). Some effects of spraying wheat with urea. J. Aust. Int. Agric. Sci., 20, 41-45.
- (12) SADAPHAL, M. N. y DAS, N. B. (1956). Effect of spraying urea on wheat. Sci. and Cult., 22, 38-40.
- (13) SADAPHAL, M. N. y DAS, N. B. (1966). Effect of spraying urea on winter wheat, *Triticum aestivum*. Agron. J., 58, 137-141.
- (14) SMITH, F. W. (1962). Fertilizer can affect wheat quality. Kans. Agric. Situation, March, 1962.
- (15) THOMAS, M. D., HENDRICKS, R. H. y HILL, G. R. (1944). Some chemical reactions of sulphur dioxide after absorption by alfalfa and sugar beets. Plant Physiol., 19, 212.
- (16) THOMAS, M. D., HENDRICKS, R. H., BRYNER, L. C. y HILL, G. R. (1944). A study of sulphur metabolism of wheat barley and corn using radioactive sulphur. Plant Physiol., 19, 227.
- (17) THORNE, G. N. y WATSON, D. J. (1955). The effect on yield and leaf area of wheat of applying nitrogen as a top dressing in April or in sprays at ear emergence. J. Agric. Sci., 46, 449-456.
- (18) TURRELL, F. M. (1947). Cit. por Turrell, F. M. y Weber, J. M., 1955, ap. cit., núm. 21, Science, 105, 434.
- (19) TURRELL, F. M. y CHERVENAK, M. B. (1950). Cit. por Turrell, F. M. y Weber, J. M. 1955, op. cit. núm. 21. Adv. in Chem. Ser., 1, 250.
- (20) TURRELL, F. M. (1950). Study of the physiological effects of elemental sulphur dust on citrus fruits. Plant physiol., 25, 13-62.
- (21) TURRELL, F. M. y WEBER, J. M. (1955). Elemental sulphur dust, a nutrient for lemon leaves. Science, 122, 119-120.
- (22) YATAZAWA, M. y NAMIKY, H. (1955). Direct evidence of foliar absorption of urea; synthesis and utilization of N_{15} rich urea. J. Sci. Soil Manure (Japan), 26, 219-222.

Recibido para publicación: 22-III-79

SENSOR PORTATIL PARA DETECTAR AGUA LIBRE EN PIEZOMETROS DE PEQUEÑAS DIMENSIONES

por

O. MERINO (*) y J. MERINO (*)

SUMMARY

PORTABLE SENSOR FOR THE MEASUREMENT OF FREE WATER LEVEL IN SHORT PIPES

A portable sensor for the measurement of free water level in short pipes buried vertically in the ground is shown. This instrument is suitable for frequent, accurate and rapid determinations of the water table depth.

1. INTRODUCCIÓN

La importancia que los factores hídricos tienen para los seres vivos, explica los frecuentes estudios ecológicos en los que se trata de relacionar la profundidad de la capa freática o su oscilación con diversos aspectos del ecosistema.

Normalmente este tipo de trabajos requieren numerosas determinaciones de la profundidad de la capa freática que deben realizarse repetidamente en el espacio y en el tiempo.

Un método frecuente por su sencillez es la instalación de piezómetros, constituidos normalmente por tubos de metal o plástico, que se clavan en el suelo en los puntos de interés y quedan instalados de forma permanente. Normalmente son útiles para este tipo de trabajos los de pequeño diámetro (por ejemplo 1") por la mayor comodidad de su instalación. La profundidad a que se encuentra el agua libre en el tubo puede considerarse como un buen índice de la profundidad de la superficie piezométrica (Castany, 1971).

La mayor dificultad estriba en hacer que estas determinaciones sean al mismo tiempo, rápidas y exactas, con este objeto se ha desarrollado un sensor portátil de construcción muy económica que se describe a continuación. Un caso concreto de aplicación puede verse en J. Merino and cols. (1976) y en Ramírez Díaz (1973).

(*) Departamento de Ecología, Facultad de Biología, Universidad de Sevilla, España.

2. DESCRIPCIÓN

En esencia, el aparato es un circuito abierto que se cierra cuando hay agua libre en el piezómetro. Para que su manejo en el campo sea cómodo, el circuito debe funcionar con baterías de pequeño tamaño y por tanto de baja capacidad. Dado que la conductividad del agua freática puede ser muy baja, se ha acoplado al circuito primario un circuito amplificador de señal.

El conjunto de los circuitos y las baterías de alimentación está contenido en un módulo metálico de $12 \times 15 \times 5$ cm. El aparato consta además de una sonda que se conecta al módulo y cuyo tamaño permite introducirla en los piezómetros con comodidad.

2.1. Descripción de la sonda

La sonda está constituida por un listón graduado de madera, plástico o cualquier otro material que para mayor comodidad de transporte, puede construirse en forma telescópica.

Solidario a la sonda y a todo lo largo de ella se dispone un cable de dos conductores antihumedad que llevan dos electrodos en un extremo y en el otro una toma para conectarlos al módulo de circuitos.

Los electrodos están separados por una distancia de 1 cm.

2.2. Descripción de los circuitos

En la figura 1 se presenta un diagrama de los circuitos y en la tabla I los componentes electrónicos.

TABLA I

Componentes eléctricos

C_1 100 μ F 9 V	T_2 AC 126
B_1 6,3 V	R_1 26 K Ω $1/2$ W 5 %
B_2 9 V	R_2 15 K Ω $1/2$ W 5 %
G 0-6 V	R_3 3 K 3 Ω $1/2$ W 6 %
T_1 AF 116	R_4 47 Ω $1/2$ W 5 %

a) Circuito detector-amplificador

El circuito detector-amplificador está alimentado por dos baterías de 4,5 voltios montadas en serie.

Cuando la resistencia entre el colector y la base de T-1 es próxima

es infinito, no circula corriente entre la base y el emisor, de forma que este transistor queda bloqueado; en consecuencia la tensión entre la base y el emisor de T-2 es tan pequeña que igualmente T-2 está bloqueado. Cuando la conductividad entre el colector y la base de T₁ es mayor de 5×10^{-5} mmh (equivalente a la conductividad del agua de elevado grado de purificación) se establece una corriente entre base y emisor de T₁ que es amplificada por T₂ y registrada simultáneamente en el galvanómetro e indicador óptico.

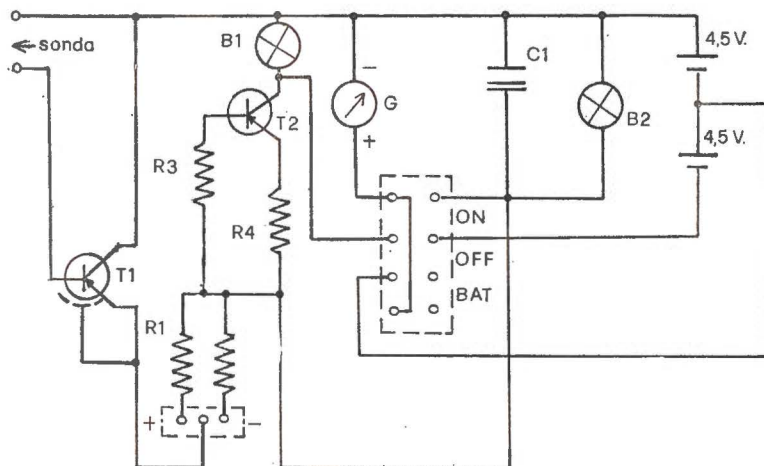


Fig. 1.—Diagrama de circuitos.

b) Circuito desensibilizador

El circuito detector-amplificador está diseñado de forma que es posible detectar agua con baja conductividad (5×10^{-5} mmh). Esto hace que la posible presencia de barro húmedo en el fondo del piezómetro, humedad de la sonda, etc., puedan cerrar el circuito dando una respuesta falsa. Para evitarlo se ha dispuesto en el aparato un conmutador que permite intercalar una resistencia que eleva el umbral necesario para dar respuesta positiva de 5×10^{-5} mmh a 10^{-1} mmh.

c) Circuito test de baterías

Se ha dispuesto en el aparato un circuito de test de baterías, que se acciona con un interruptor y que utiliza como indicador el mismo galvanómetro que el circuito principal.

3. UTILIZACIÓN DEL APARATO

En la figura 2 se presenta un esquema del módulo que alberga los circuitos y las dos baterías de 4,5 voltios. Visto de frente presenta:

- Un interruptor conmutador (A) de tres posiciones:
 - 1.^a Todos los circuitos OFF.
 - 2.^a Circuito test de baterías ON. Todos los demás circuitos OFF.
 - 3.^a Circuito test de baterías OFF. Todos los demás circuitos ON.
- Un indicador óptico de funcionamiento (F) que permanece iluminado con el conmutador interruptor en posición 3.^a y apagado en las posiciones 1.^a y 2.^a
- Un indicador óptico (S) que se ilumina cuando la sonda se sumerge en agua y permanece apagado cuando la sonda está fuera de ella.

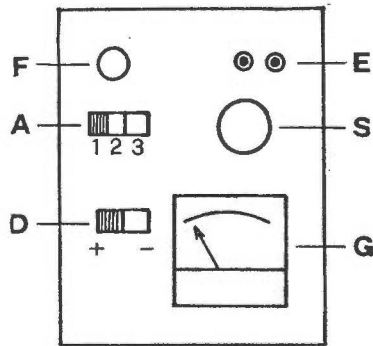


Fig. 2.—Esquema frontal del módulo de circuitos. F: indicador óptico de funcionamiento; S: indicador óptico de respuesta; G: galvanómetro de respuesta; D: interruptor desensibilizador; A: interruptor conmutador de tres posiciones; E: conexión para el cable de la sonda.

— Un galvanómetro (G) cuya aguja se desplaza cuando la sonda se sumerge en agua.

— Un conmutador desensibilizador (D) con dos posiciones: (+) y (—), que permite operar respectivamente con mayor o menor sensibilidad.

— Dos conexiones (E) para la sonda.

Operación

Una vez comprobado el buen estado de las baterías (respuesta positiva del galvanómetro con el conmutador A en la posición 2.^a):

- a) Se conectan los bornes de la sonda al módulo de circuitos.

- b) Se sitúa el conmutador D en posición (+).
- c) Se sitúa el conmutador A en posición 3.^a, con lo que se ilumina el indicador óptico de funcionamiento F.
- d) Se introduce la sonda en el piezómetro. Si hay agua libre se produce un desplazamiento en el galvanómetro. Simultáneamente se ilumina la lámpara indicadora S.

En este momento la lectura directa de la escala de la sonda indica la profundidad a que se encuentra el agua libre. La precisión de la medida con una sonda graduada en mm. es de ± 1 mm.

El indicador luminoso adicional S, permite operar en horas de escasa visibilidad en las que la lectura del galvanómetro es difícil.

Cualquiera de las causas señaladas en el apartado 2.2.b puede activar el circuito detector amplificador sin haber agua libre en el piezómetro. Si existe esta sospecha, debe situarse el conmutador sensibilizador en la posición (—) con lo que la sensibilidad del circuito detector amplificador desciende, evitando que se cierre cuando no hay agua libre presente.

RESUMEN

Se presenta un sensor eléctrico portátil para la determinación del nivel de agua libre en piezómetros de pequeño diámetro. Su utilización está indicada en los casos en que son necesarias determinaciones frecuentes, precisas y rápidas del nivel freático.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) CASTANY, G. (1971). Tratado práctico de las aguas subterráneas. Omega. Barcelona.
- (2) MERINO, J., GARCÍA NOVO, F. and SÁNCHEZ DÍAZ, M. (1976). Annual fluctuation of water potential in the xerophytic shrub of the Doñana Biological Reserve (Spain). *Ecologia Plantarum*, 11 (1), 1-11.
- (3) RAMÍREZ DÍAZ, L. (1973). Estudio ecológico cuantitativo del matorral de la Reserva Biológica de Doñana. Tesis doctoral. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Sevilla.

Recibido para publicación: 30-III-79

NOTAS

COMISION ASESORA DE INVESTIGACION CIENTIFICA Y TECNICA

El B. O. E. núm. 249 de 17 de octubre del año en curso publica el Real Decreto 2412/1979 de 5 de octubre, por el cual se reorganiza la Comisión Asesora de Investigación Científica y Técnica, determinándose su composición, competencias y funcionamiento.

El texto del Real Decreto dice así:

La Comisión Asesora de Investigación Científica y Técnica fue creada por Decreto de siete de febrero de mil novecientos cincuenta y ocho, con la misión específica de asesorar al Gobierno y a los distintos Departamentos en la programación y desarrollo de los Planes de Investigación Científica y Técnica de interés nacional encomendándosele para la consecución de sus objetivos específicos diversas funciones orientadoras y coordinadoras de la investigación científica y técnica que no podían ser realizadas a nivel ministerial.

Las nuevas circunstancias de la investigación científica y las modificaciones orgánicas de la Administración del Estado aconsejan la promulgación de una disposición que, recogiendo la experiencia del funcionamiento de la Comisión Asesora, actualice su composición y funciones.

Los fundamentos en que se basa la reestructuración de la Comisión Asesora de Investigación Científica y Técnica regulada en el presente Real Decreto son dos. En primer lugar, la conveniencia de distinguir la función de fijación de prioridades científicas y criterios de evaluación y selección de la función de aplicar dichas prioridades y criterios al impulso y seguimiento de programas y proyectos concretos. La primera función se atribuye a un órgano de naturaleza científico-técnica en sentido amplio. La segunda a un órgano que incorpore a altos funcionarios de los diversos Ministerios afectados. Se prevé al mismo tiempo que ambos órganos formen conjuntamente el Pleno de la Comisión que realice una evaluación general de resultados y proponga medidas de coordinación de la investigación.

El segundo fundamento es la conveniencia de suministrar estabilidad a unos órganos que han de proponer la aplicación de recursos importantes para el cumplimiento de objetivos a medio plazo. Esto supone una suficiente continuidad de las personas que forman los órganos colegiados.

En su virtud, de conformidad con lo dispuesto en el artículo quinto del Decreto ochocientos noventa y tres/mil novecientos sesenta y tres, de veinticinco de abril; la disposición final segunda del Real Decreto mil quinientos cincuenta y ocho/mil novecientos setenta y siete, de cuatro de julio, y a fin de desarrollar el artículo cuarto del Real Decreto setecientos ocho/mil novecientos setenta y nueve, de cinco de abril, a propuesta del Ministro de Universidades e Investigación, con aprobación de la Pre-

sidencia del Gobierno, y previa deliberación del Consejo de Ministros en su reunión del día cinco de octubre de mil novecientos setenta y nueve,

D I S P O N G O :

Artículo primero.—Corresponde a la Comisión Asesora de Investigación Científica y Técnica, bajo la dependencia orgánica del Ministerio de Universidades e Investigación, elaborar las directrices generales para el desarrollo de la investigación científica y técnica, así como la propuesta de distribución de recursos para promover dicho desarrollo. La Comisión Asesora será, a estos efectos, el órgano asesor y de trabajo de la Comisión Delegada del Gobierno de Política Científica.

Artículo segundo.—La Comisión Asesora se estructura en dos órganos colegiados, que son:

El Comité Científico y Técnico.

El Comité Interministerial de Programación.

Estos órganos funcionarán con independencia o conjuntamente integrando el Pleno de la Comisión Asesora.

El Comité Científico y Técnico

Artículo tercero.—Uno. El Comité Científico y Técnico estará constituido por un Presidente y veinte Vocales, que serán designados entre personalidades de competencia relevante en los distintos campos científicos y técnicos y un Secretario.

Dos. El Presidente será nombrado por Real Decreto, a propuesta del Ministro de Universidades e Investigación.

Tres. Los Vocales serán designados por Real Decreto, a propuesta del Ministro de Universidades e Investigación, entre los presentados por las Reales Academias, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Consejo de Rectores y por los Centros Superiores de Investigación de los Ministerios de Defensa, Industria y Energía, Agricultura y Obras Públicas y Urbanismo, que los respectivos titulares propongan al Ministro de Universidades e Investigación. Su nombramiento se hará por un período de cuatro años y se renovará cada dos años la mitad de sus componentes a partir del cuarto año de su constitución.

El Secretario será el mismo que el del Pleno.

Artículo cuarto.—Serán competencias del Comité Científico y Técnico las siguientes funciones:

- a) Estudiar los objetivos científicos y técnicos y las prioridades nacionales.
- b) Evaluar la actividad científica.
- c) Proponer criterios de valoración y selección de programas generales de investigación.
- d) Informar la constitución de las Asociaciones de Investigación.
- e) Evacuar consultas e informes y proponer proyectos y planes relacionados con la política científica y la investigación que le sean solicitados por el Gobierno, la Comisión Delegada de Política Científica, el Ministerio de Universidades e Investigación, o cualquier otro Departamento dentro del ámbito de sus respectivas competencias.

El Comité Interministerial de Programación

Artículo quinto.—Uno. El Comité Interministerial de Programación estará constituido por el Presidente, tres Vicepresidentes, diecinueve Vocales y el Secretario.

Dos. Será Presidente el Subsecretario del Ministerio de Universidades e Investigación.

Tres. Serán Vicepresidentes los Subsecretarios de los Ministerios de Industria y Energía, Defensa y Agricultura.

Cuatro. Los Vocales representarán a los sectores de la Administración más vinculados con la investigación científica y técnica y serán designados entre quienes desempeñen las funciones de Director general o asimilados, de la siguiente forma:

- a) Tres Vocales designados libremente por el Ministerio de Universidades e Investigación.
- b) Tres Vocales a propuesta del Ministerio de Industria y Energía.
- c) Tres Vocales a propuesta del Ministerio de Defensa.
- d) Tres Vocales a propuesta del Ministerio de Agricultura.
- e) Un Vocal a propuesta del Ministerio de Hacienda.
- f) Un Vocal a propuesta del Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo.
- g) Un Vocal a propuesta del Ministerio de Economía.
- h) Un Vocal a propuesta del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- i) Un Vocal a propuesta del Ministerio de Sanidad.
- j) Un Vocal a propuesta del Ministerio de Asuntos Exteriores.
- k) Un Vocal a propuesta del Ministerio de Cultura.

Cinco. El Secretario será el mismo del Pleno.

Artículo sexto.—Serán competencias del Comité Interministerial de Programación las siguientes funciones:

- a) Informar las disposiciones generales de contenido económico que afecten a la investigación.
- b) Estudiar la situación general y la financiación de la investigación científica y técnica en España, evaluando y proponiendo las medidas para satisfacer las necesidades, en ciencia y tecnología, requeridas para el desarrollo de la política nacional.
- c) Resolver las convocatorias de ayudas, planes y programas de investigación acordes con los objetivos y prioridades fijados.
- d) Establecimiento de criterios de evaluación de proyectos, planes y programas de investigación y adopción de medidas para su aplicación.
- e) Propuesta de distribución de recursos a la Comisión Delegada de Política Científica.
- f) El seguimiento y control de planes, proyectos y programas de investigación o cualquier otra actividad cuya administración corresponda a la Comisión Asesora.
- g) Coordinar y asesorar la elaboración de planes y programas nacionales de investigación científica y técnica, proponiendo al Gobierno cuantas medidas sean necesarias para su realización.

El Pleno

Artículo séptimo.—Uno. El Pleno de la Comisión Asesora estará constituido por el Presidente, dos Vicepresidentes, los Vocales y el Secretario.

Dos. La Presidencia recaerá sobre el Ministro de Universidades e Investigación.
Tres. Será Vicepresidente primero del Pleno el Presidente del Comité Interministerial de Programación, y Vicepresidente segundo el Presidente del Comité Científico y Técnico.

Cuatro. Los Vocales serán los miembros del Comité Científico y Técnico y del Comité Interministerial de Programación.

Cinco. El Secretario, que lo será también del Comité Científico y Técnico y del Comité Interministerial de Programación, será el Director general de Política Científica del Ministerio de Universidades e Investigación.

Artículo octavo.—Serán competencias del Pleno las siguientes funciones:

a) Proponer las medidas necesarias para una máxima coordinación y fomento de la investigación científica y técnica, tanto en el sector público como en el privado.

b) Intormar acuerdos internacionales.

c) Analizar las líneas generales de la actividad científica promovida por la Comisión Asesora.

d) Evacuar consultas e informes que le sean sometidos por el Gobierno, la Comisión Delegada de Política Científica, el Ministerio de Universidades e Investigación o los propios Comité Científico y Técnico y Comité Interministerial de Programación.

Artículo noveno.—Para el mejor estudio y análisis de determinadas cuestiones los Presidentes, en el ámbito de sus respectivas competencias, podrán constituir ponencias especializadas a las que podrán adscribir a personas que no formen parte de la Comisión Asesora.

Ejecución de acuerdos

Artículo diez.—El órgano ejecutivo de la Comisión Asesora es la Secretaría General. A estos efectos el Secretario se verá asistido por las siguientes unidades:

— Vicesecretaría.

— Gabinete de Estudios.

— Gabinete de Relaciones Internacionales.

— Registro.

Artículo once.—Para el cumplimiento de sus fines, la Comisión Asesora podrá recabar de los Organismos que se relacionen directamente o realicen investigación científica y técnica, información sobre sus medios y sobre sus planes de trabajo, así como sobre los recursos económicos que los distintos Departamentos ministeriales dediquen a la investigación científica y técnica.

Artículo doce.—La Comisión Asesora podrá interesar de los diferentes Organismos Públicos de Investigación la adscripción en comisión de servicios de otros funcionarios que considere necesarios para el cumplimiento de sus funciones.

Disposiciones finales

Primera.—Las competencias atribuidas hasta ahora por cualquier disposición a la Comisión Asesora de Investigación Científica y Técnica serán asumidas, de acuerdo con su naturaleza, por el Comité Científico y Técnico, el Comité Interministerial de Programación o el Pleno.

Segunda.—Se autoriza al Ministerio de Universidades e Investigación para dictar las normas precisas para el desarrollo del presente Real Decreto, que entrará en vigor al día siguiente de su publicación en el «Boletín Oficial del Estado».

Disposiciones derogatorias

Primera.—Quedan derogados los Decretos de siete de febrero de mil novecientos cincuenta y ocho; de seis de junio de mil novecientos cincuenta y ocho; de seis de mayo de mil novecientos cincuenta y nueve; mil trescientos setenta y siete/mil novecientos sesenta y dos, de catorce de junio; mil ciento sesenta y seis/mil novecientos sesenta y tres, de treinta de mayo; mil cuatrocientos setenta y tres/mil novecientos sesenta y seis, de dieciséis de junio; dos mil trescientos nueve/mil novecientos sesenta y siete, de veinte de julio; tres mil quinientos once/mil novecientos setenta, de veintiséis de noviembre; dos mil once/mil novecientos setenta y uno, de veintitrés de julio; quinientos sesenta y siete/mil novecientos setenta y dos, de dieciséis de marzo, y mil novecientos ochenta y uno/mil novecientos setenta y cinco, de veintitrés de agosto, y las Ordenes de Presidencia del Gobierno de veintidós de junio de mil novecientos setenta y uno y diecisiete de julio de mil novecientos setenta y cuatro.

Segunda.—Continuarán vigentes en lo que no se opongan al presente Real Decreto las siguientes disposiciones:

— Los Decretos mil setecientos sesenta y cinco/mil novecientos sesenta y uno, de veintidós de septiembre; quinientos setenta y uno/mil novecientos sesenta y seis, de tres de marzo, y mil doce/mil novecientos setenta, de nueve de abril, relativos a Asociaciones de Investigación.

— El Decreto tres mil ciento noventa y nueve/mil novecientos sesenta y cuatro, de dieciséis de octubre, por el que se creó el Fondo Nacional para el Desarrollo de la Investigación Científica y Técnica, así como las Ordenes de Presidencia del Gobierno de uno de julio de mil novecientos sesenta y cinco y doce de marzo de mil novecientos sesenta y tres que lo desarrollan.

— El Decreto mil cuatrocientos diez/mil novecientos sesenta y ocho, de seis de junio, modificado por el mil doscientos cincuenta y seis/mil novecientos setenta y cuatro, de veinticinco de abril, relativos a Planes Concertados de Investigación, así como las Ordenes de Presidencia del Gobierno de veintisiete de julio de mil novecientos sesenta y ocho y doce de mayo de mil novecientos setenta y tres, que lo desarrollan.

Dado en Madrid a cinco de octubre de mil novecientos setenta y nueve.—JUAN CARLOS R.—El Ministro de Universidades e Investigación, *Luis González Seara*.

INGRESO DEL PROF. ORTUÑO EN LA REAL ACADEMIA DE MEDICINA Y CIRUGIA DE MURCIA

El día 26 de noviembre próximo ingresará en la Real Academia de Medicina y Cirugía de Murcia, como Académico Numerario, el Prof. Dr. D. Angel Ortuño Martínez, Director del Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura del C. S. I. C.

El discurso de ingreso versará sobre «El hombre y la Biología» y será contestado por el Académico Ilmo. Dr. D. Enrique Sánchez-Vizcaino Fernández.

El acto tendrá lugar en el Palacio de la Cultura Saavedra Fajardo, Gran Vía Alfonso X el Sabio, 7.

SOCIEDAD ESPAÑOLA DE CIENCIA DEL SUELO

La Sociedad Española de Ciencia del Suelo celebrará su Asamblea General en Madrid (Instituto de Edafología y Biología Vegetal) de acuerdo con el siguiente programa:

Día 30 de enero: *Sesión Científica.*

10,00-10,25: Apertura de la Asamblea General.

10,30-12,55: Presentación de comunicaciones:

Suelos áridos

C. Roquero: «Contribución al conocimiento de los suelos del Sahara Centro Septentrional».

V. Hernando: «Consideraciones sobre los niveles de fertilidad y recomendaciones de abonado para cereales en algunos tipos de suelos en la provincia de Toledo».

Suelos de carga variable

J. M. Hernández Moreno, E. Fernández Caldas, González Batista: «Características de carga de andosoles y suelos ándicos».

A. González Batista: «Estudio de la reactividad de coprecipitados de Fe y Al en relación con sus características de carga».

J. M. Hernández Moreno: «Estudio de diferentes métodos para la determinación del punto cero de carga en andosoles».

(Cada ponente dispondrá de 15 minutos para la presentación y 10 minutos de discusión.)

13,00-13,30: Elección de los miembros de la Mesa Electoral.

16,00-19,00: Presentación de comunicaciones:

Suelos salinos

D. de la Rosa, J. M. Murillo, M. Chaves: «Caracterización estadística de algunos suelos representativos de Andalucía. I. Entisoles de las marismas del Guadalquivir».

S. González Carcedo: «Relación de la actividad ureásica con las propiedades de los suelos salinos de Poza de la Sal (Burgos)».

M. Simón, J. Aguilar: «Suelos salinos de la provincia de Granada».

J. Porta, M. López-Acevedo, S. Castroviejo: «Diagnóstico de salinidad y alcalinidad en suelos por medio del estudio de comunidades vegetales».

M. Donezar Díez de Ulzurrun: «Salinizaciones en baja Navarra».

J. M. Ontañón Sánchez: «Posibilidades de solonchización en áreas salinoalcalinas de Bardenas».

Día 31 de enero: *Elecciones y Asamblea General.*

10,00-11,00: Constitución de la Mesa Electoral y votación.

11,00: Cierre de la Mesa Electoral.

11,00-12,25: Escrutinio. Acta de las elecciones.

12,30-14,00: Asamblea General.

16,00-19,00: Desarrollo de la Asamblea. Orden del día.

Lectura y aprobación, si procede, del acta de la reunión anterior.

Informe del Presiden.e.

Aprobación, si procede, del Acta de las elecciones.

Memoria anual.

Balance económico. Propuesta de modificación de cuotas.

Presupuesto de la Sociedad.

Grupos de Trabajo solicitados. Delegaciones.

Congresos Internacionales. Revista ISSS.

Subvenciones a Reuniones.

Cambio de nombre de la Sección III.

Ruegos y preguntas.

19,00-20,00: Explicación de la excursión edafológica.

Con ocasión de celebrarse la Asamblea tendrá lugar una excursión edafológica, según el detalle siguiente:

Día 1 de febrero: *Excursión edafológica.*

8,00: Salida de la excursión desde el Instituto de Edafología de Madrid.

8,00 14,00: Madrid-Puerto Lápice: observación de perfiles.

14,00 16,00: Almuerzo en Puerto Lápice (Venta del Quijote).

16,00-19,00: Puerto Lápice-Herencia-Puerto Lápice: observación de perfiles.

19,00 21,00: Puerto Lápice-Madrid: regreso.

GRUPO ESPAÑOL DE TRABAJO DEL CUATERNARIO

La reunión del Grupo Español de Trabajo del Cuaternario, que viene celebrándose bianualmente en distintos puntos de la geografía española, tuvo lugar este año entre los días 23 y 30 de septiembre, en la localidad de Bañolas (Gerona), reuniendo a un centenar de investigadores.

Se inició el Congreso con una excursión a la región del alto valle del río Ter; fue dirigida por el Dr. Serrat y tuvo como objetivo el estudio geomorfológico de los glaciares que afectaron a esa zona.

La sesión inaugural tuvo lugar el día 24 por la tarde en la sala de conferencias del Monasterio con la conferencia del Dr. Seret, profesor de la Universidad de Lovaina, que disertó sobre el tema «La notion moderne de pénélaine a la lumière de la estratigraphie paléoclimatique du Quaternaire intertropical africain et des cuirasses latéritiques».

La mañana del día 25 se dedicó a la exposición de comunicaciones sobre Edafología. Al mediodía se visitaron el museo Arqueológico y el museo Darder, acompañando a los congresistas el presidente del Centre d'Estudis Comarcals de Bañolas, Sr. Butiña. Acabadas estas visitas el Alcalde y el presidente del C. Estudis Comarcals recibieron oficialmente a los congresistas y ofrecieron un vino de honor. En la sesión de trabajo de la tarde se presentaron varias comunicaciones sobre carbonatos y medios marinos y palinología.

El día 26 por la mañana se reconocieron sobre el terreno diferentes aspectos de la cuenca lacustre de Bañolas-Besalú. Las explicaciones corrieron a cargo del Dr. R. Juliá, centrando el tema en la génesis y sedimentología del lago y las formaciones carbonatadas continentales. Por la tarde, después de una comida ofrecida a los con-

gresistas por los organizadores del Congreso, se celebró la Asamblea ordinaria del GETC, en la que se renovó la junta directiva.

El día 27 en la sesión matinal se presentaron cuatro comunicaciones sobre Prehistoria y Paleontología. Por la tarde se visitó el «complejo prehistórico de Serriñá, excursión que fue comentada por la Sra. A. Mir y el Sr. Soler.

Las comunicaciones presentadas el día 28 versaron sobre el tema «dinámica actual y periglaciario y glaciario». Por la tarde después de la sesión de trabajo se organizó una mesa redonda sobre «El Cuaternario y la ordenación del medio natural» presidida por el Dr. Antonio Cendrero de la Universidad de Santander.

La excursión post-congreso fue de dos días de duración y tenía como objetivo el estudio del Cuaternario de la zona del Panadés, el estudio de los suelos, abanicos aluviales y terrazas marinas del Bajo Ebro y el yacimiento prehistórico de la Bóvila del Sugrañés de Reus. La primera parte fue presentada por el Sr. Gallart, la segunda por los Dres. Juliá, Marqués y Porta, y la tercera había sido preparada por los Sres. Salas y Mir.

Se despidió a los congresistas en la localidad de la Ampolla, citándolos para la próxima reunión que tendrá lugar en Sevilla dentro de dos años.

NUEVA JUNTA DE GOBIERNO DEL GRUPO ESPAÑOL DE TRABAJOS DEL CUATERNARIO

Con ocasión de la Asamblea General ordinaria celebrada durante el mes de septiembre en Bañolas (Gerona), el Grupo Español de Trabajos del Cuaternario acordó la renovación de su Junta de Gobierno del Grupo, que quedó constituida de la forma siguiente:

Presidente: D. Francisco Monturiol Rodríguez, del Instituto de Edafología y Biología Vegetal de Madrid.

Vicepresidente: D. José Fernández Villalta, del Instituto Jaime de Almera, Barcelona.

Tesorero: Srta. Trinidad Aleixandre Fernández, del Instituto de Edafología y Biología Vegetal.

Secretario: D. Juan Gallardo Díaz, del Instituto de Edafología y Biología Vegetal.

Vocales: D. Emilio Lizaga, del Instituto Geológico y Minero de Madrid; D. Ramón Juliá, del Instituto Jaime de Almera; Srta. M.^ª Angeles Márquez, de la Facultad de Geológicas de la Universidad de Barcelona; D. Carlos Enrique Martí, del Instituto de Estudios Pirenaicos, Jaca; Srta. Ana Mir, de la Facultad de Geografía e Historia de Barcelona; D. José Ramón Vidal Ramoní, del Colegio Universitario de la Coruña, y D. José Manuel Rubio Recio, de la Facultad de Geografía e Historia, de Sevilla, en calidad de organizador de la 5.^ª Reunión Nacional que será en Sevilla en septiembre de 1981.

SIMPOSIO AGUA SIGLO XXI

Organizado por el Comité Español para el Programa Hidrológico Internacional se celebrará el «Simposio Agua Siglo XXI», de acuerdo con el programa siguiente:

Organización: Organizado por el Comité Español para el P. H. I. y patrocinado por la UNESCO.

Lugar y fechas: Madrid, del 8 al 13 de septiembre de 1980.

Programa técnico

1. *Tecnología del agua*

- 1.1. Inventarios y metodología hidrológica de base.
- 1.2. Evaluación de recursos hidráulicos a diversos niveles y etapas.
- 1.3. Problemas técnicos del aprovechamiento integral de cuencas hidrográficas.

2. *Demandas, mercados y tarifas*

- 2.1. Experiencias y comparación de rendimiento entre regadíos convencionales y utilización de técnicas de aspersión convencional, aspersión mecanizada y goteo.
- 2.2. Aspectos técnicos de la prospección de demandas.
- 2.3. Evaluación técnica y economía de proyectos.
- 2.4. Experiencias reales sobre estudios de tarifas y mercados.

3. *Gestión y administración de recursos hidráulicos*

- 3.1. Aspectos legales e institucionales de los recursos hidráulicos.
- 3.2. Experiencia de los sistemas de seguros para el problema de sequías e inundaciones.
- 3.3. Balance en grandes cuencas de recursos y necesidades en la situación actual y en el año 2000.
- 3.4. Necesidades de formación y especialización en el marco de las Ciencias del agua.

Otros programas

Visitas técnicas, culturales y turísticas.

Comunicaciones

De acuerdo con las normas de UNESCO: Resumen (1 pág.), antes del 1 de abril de 1980. Textos completos (20 págs.), antes del 15 de junio de 1980.

Idiomas

Español, francés e inglés.

Información, inscripciones y reservas

Rafael Heras. Simposio Agua Siglo XXI. Paseo Bajo de la Virgen del Puerto, 3, Madrid-5, España. Teléf. 266-06-92. Telex 22029 opcehe.

SIMPOSIO INTERNACIONAL SOBRE ENERGIA E INDUSTRIAS AGRICOLAS Y ALIMENTARIAS

Objetivo de Simposio

El desarrollo económico de los diversos países, con la consiguiente elevación del nivel de vida de sus habitantes, ha dado lugar desde hace algunos decenios a un considerable aumento en el consumo de energía. Dado el dominio alcanzado por científicos y técnicos en el campo de las producciones biológicas y de las transformaciones de la materia, los factores limitativos principales de su progreso y de todo aquello que constituye para ellos la calidad de la vida serán, de ahora en adelante, la clase y la cantidad de la energía disponible.

El elevado costo del tipo adecuado de energía es ahora lo que impide la transformación de los desiertos en «tierra prometida» y frena la producción de alimentos.

El elevado costo del tipo adecuado de energía es ahora lo que limita el confort del habitat basado en la climatización ambiental y en la utilización habitual de los electrodomésticos.

El elevado costo del tipo adecuado de energía será mañana lo que pueda impedir los desplazamientos frecuentes y a gran distancia y, por tanto, los intercambios internacionales, factores del equilibrio económico mundial.

Sin embargo, las fuentes de energía utilizadas hasta hoy son esencialmente de origen fosil y, por tanto, no renovables. Resulta, pues, del mayor interés para todos los países del mundo reducir al máximo su consumo, recurrir cada vez más a las formas de energía renovables y buscar nuevas fuentes de energía, con el fin de asegurar en el futuro una auténtica gestión común de los potenciales energéticos.

Estos son los objetivos de este Simposio, cuyos temas de estudio quedan limitados estrictamente a las industrias agrícolas y alimentarias (industrias de transformación de las producciones agrícolas y ganaderas y de la pesca).

Comité Científico

Está formado por las siguientes personalidades:

M. Aranda, Instituto Nacional Investigaciones Agrarias, Madrid, Espagne; M. Bimbenet, Ecole Nationale Supérieure des Industries Agricoles et Alimentaires, Massy, France; M. Bonastre, Commission Internationale des Industries Agricoles et Alimentaires (C. I. I. A.), Paris, France; M. Cantarelli, Institut de Technologie Alimentaire, Milán, Italie; M. Carballo, Instituto Nacional Investigaciones Agrarias, Madrid, Espagne; M. Golebiewski, Institut des Industries de Fermentation, Varsovie, Pologne; M. Hawthorn, University of Strathclyde, Glasgow, United Kingdom; M. Hollo, Institut Central de Recherche pour la Chimie de l'Académie Hongroise des Sciences, Budapest, Hongrie; M. Kallal, Institut National de Nutrition et de Technologie Alimentaire, Tunis, Tunisie; M. Loncin, Institut de Technologie Alimentaire, Karlsruhe, R. F. A.; M. Paneras, Institut de Science et Technologie Alimentaires, Université de Thessalonique, Grece; M. Senhaji, Institut Agronomique Hassan II, Rabat, Maroc; M. Devreux, Centre d'enseignement et de Recherche des industries alimentaires, Belgique. Université Catholique de Louvain, Belgique.

PROGRAMA

I. *Energía y elección del proceso industrial*

Las comunicaciones deberán basarse en realizaciones industriales concretas, en proyectos o en investigaciones en vías de realización. Se prestará particular interés a los aspectos técnicos y/o económicos.

1. *Energía y concentración-secado*

Concentración térmica: compresión de vapores, bomba de calor.
Concentración mediante el uso de membranas.
Otros procedimientos industriales de concentración.
Comparación y asociación de procedimientos de concentración.
Recuperación de energía en el secado.
Elección del procedimiento de secado: por arrastre, por ebullición.
Sustitución de la energía térmica por la mecánica (prensado, etc.).

2. *Energía y tratamientos de conservación*

Blanqueo, tratamientos térmicos.
Frío (a desarrollar por el Instituto Internacional del Frío).

3. *Energía y otros procesos industriales*

Destilación.
Cocción y cocción-extrusión.
Limpieza (recipientes, instalaciones).
Trituración.
Métodos mecánicos de separación.
Extracción mediante solventes.

II. *Hacia una utilización más racional de la energía en las industrias agrícolas y alimentarias*

En este apartado serán tratados los temas generales, que deberán presentar aspectos concretos basados, siempre que esto sea posible, en realizaciones industriales.

1. *Gestión de la energía en las industrias*

Medida del consumo y de los rendimientos energéticos.
El paso de los métodos discontinuos a los continuos y la automatización, como factores de economía de energía.
Energía y climatización de los locales de trabajo.

Costo energético de los embalajes.
 Costo energético del transporte. Posibilidades de optimización.
 Energía y tamaño de las empresas.

2. *Elección de las fuentes de energía y del modo de utilizarla*

Sustitución de fuel, gas, carbón y electricidad entre sí.
 Bombas de calor.
 Utilización de la energía total.
 Valoración energética de los efluentes y de los desechos.
 Energía solar, térmica y otras.

3. *Estudio energético de las secuencias de operaciones que constituyen algunos procesos industriales*

Industrias lácteas.
 Industrias azucareras.
 Industrias elayotécnicas.
 Industrias cárnicas.
 Industrias enológicas.
 etc.

4. *Energía y sociedad*

La energía y el Estado: estímulos administrativos.
 Relaciones entre la energía y la calidad de los productos.
 Energía y medio ambiente.

III. *Del control de la energía en las I. A. A., a las I. A. A. productoras de energía*

Agroenergética y bioenergética.

IV. *Conclusiones y perspectivas*

Formulario - respuesta

Se ruega a las personas interesadas por este Simposio que envíen cumplimentado el formulario comprobante. Posteriormente, recibirán el programa definitivo, con la ficha de inscripción.

Presentación de comunicaciones

Se ruega a aquellos que deseen presentar una propuesta de comunicación que, antes del 30 de marzo de 1980, envíen un resumen de la misma según modelo redactado en uno de los tres idiomas del Simposio.

El Comité Científico se reserva el derecho de aceptar o de rehusar las comunicacio-

nes después de haber considerado el contenido del correspondiente resumen y de establecer el modo en que habrán de ser presentadas.

Para poder quedar incluidas en la documentación que será enviada a los participantes antes de la celebración del Simposio, las comunicaciones aceptadas deberán haberse recibido en la correspondiente Secretaría, redactadas en uno de los tres idiomas del Simposio, antes del 30 de junio de 1980.

El Simposio tendrá lugar patrocinado por el Ministerio de Agricultura de España durante los días 6-7-8 de octubre de 1980.

La Secretaría de la Reunión estará en la Dirección General de Industrias Agrarias (Ministerio de Agricultura), Paseo Infanta Isabel, 1. Madrid-7.

MEDIO AMBIENTE Y AGRICULTURA

Organizado por el Centro de Estudios Rurales y patrocinado por la Dirección General del Medio Ambiente (Iryda-Ikona-Ceotma), tendrá lugar en Madrid (salón de actos del Iryda), del 28 al 31 de enero, esta reunión. Seguirá el Programa siguiente:

Lunes, 28 de enero:

Presentación: D. Antonio Gil Alberdi Ruiz de Zárate, Presidente IRYDA.

Dra. Ascensión Barañano, Antropóloga y Subdirectora del Centro de Estudios Rurales.

Conferencia: *Energía y agricultura.*

Ponente: D. José Manuel Naredo, Jefe Negociado del Departamento de Coyuntura Económica del Ministerio de Economía.

Moderador: D. Miguel Angel Recuero, Biólogo, Secretario Equipo Medio Ambiente del Centro de Estudios Rurales.

Martes, 29 de enero:

Conferencia: *Energía nuclear y agricultura.*

Ponente: D. Miguel Gil, Geólogo y Periodista. Centro de Estudios Socioecológicos.

Conferencia: *Ecología y agricultura.*

Ponente: D. Antonio Gómez Sal, Prof. Departamento Ecología de la Facultad de Ciencias de la Universidad Complutense.

Moderador: D. Pablo José Conejo, Director del Semanario Actualidad Agraria.

Miércoles, 30 de enero:

Conferencia: *Repoblación forestal.*

Ponente: D. Francisco García Novo, Catedrático Ecología Universidad Sevilla.

Conferencia: *Aguas contaminadas. Utilización. Depuración natural.*

Ponente: D. Domingo Jiménez Beltrán, Ing. Industrial y Asesor Industrial de Depuración.

Moderador: D. José López de Sebastián, Ing. Agrónomo y Economista.

Jueves, 31 de enero:

Mesa redonda en torno al tema *Planificación territorial en el medio rural.*

Ponentes: D. José María Abreu y Pidal, Jefe del Servicio de Aprovechamiento de ICONA; D. Domingo Gómez Orea, Ing. Agrónomo y Coordinador del CIFCA; D. Antonio García Alvarez, Dr. Ing. de Montes y Técnico de la Subdirección General

de Normativa de CEOTMA, y D. Alfredo Villanueva Paredes, Arquitecto Urbanista del C. I. D. U. R.

Coordinador: D. José Ramón Montes, Redactor Revista Surco y miembro del C. E. R.

Clausura: Intervendrán representantes de los organismos patrocinadores.

Todas las conferencias tendrán lugar a las 6 de la tarde en el Salón de Actos del IRYDA. Avda. Generalísimo, Madrid.

En esta Sección de la Revista se publicarán las noticias de interés científico, enviadas por los Centros o por sus miembros que incidan sobre la actividad investigadora de las áreas de trabajo que contempla el Instituto Nacional de Edafología y Agrobiología «José M.ª Albareda» y sus planes de actuación. Igualmente las que se refieran al propio personal investigador o las que tengan relación con la problemática de la investigación y su futuro.

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 *espaciadas*.

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 servirse, a su cargo, las que desee.

11. *Examen de manuscritos.*—Los trabajos, una vez recibidos, pasarán a la Comisión de Publicaciones para informe.



ISSN 0365-1797

Depósito Legal M. 400.-1958

Imp. Vda. de C. Bermejo - Tel. 441 06 16

10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100

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 Acimatación. 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

Presidente: D. Angel Hoyos de Castro.

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. 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 8.000 ptas.
Fascículo suelto 1.200 »	Fascículo suelto 1.500 »

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

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
NOTA TÉCNICA	
Sensor portátil para detectar agua libre en piezómetros de pequeñas dimensiones, por O. Merino y J. Merino	1867
NOTAS	1873

VOLUME XXVIII, NUMBERS 5-10

ANIALES DE

BIOLÓGIA Y

AGROLOGÍA

SEPTIEMBRE-OCTUBRE

1979