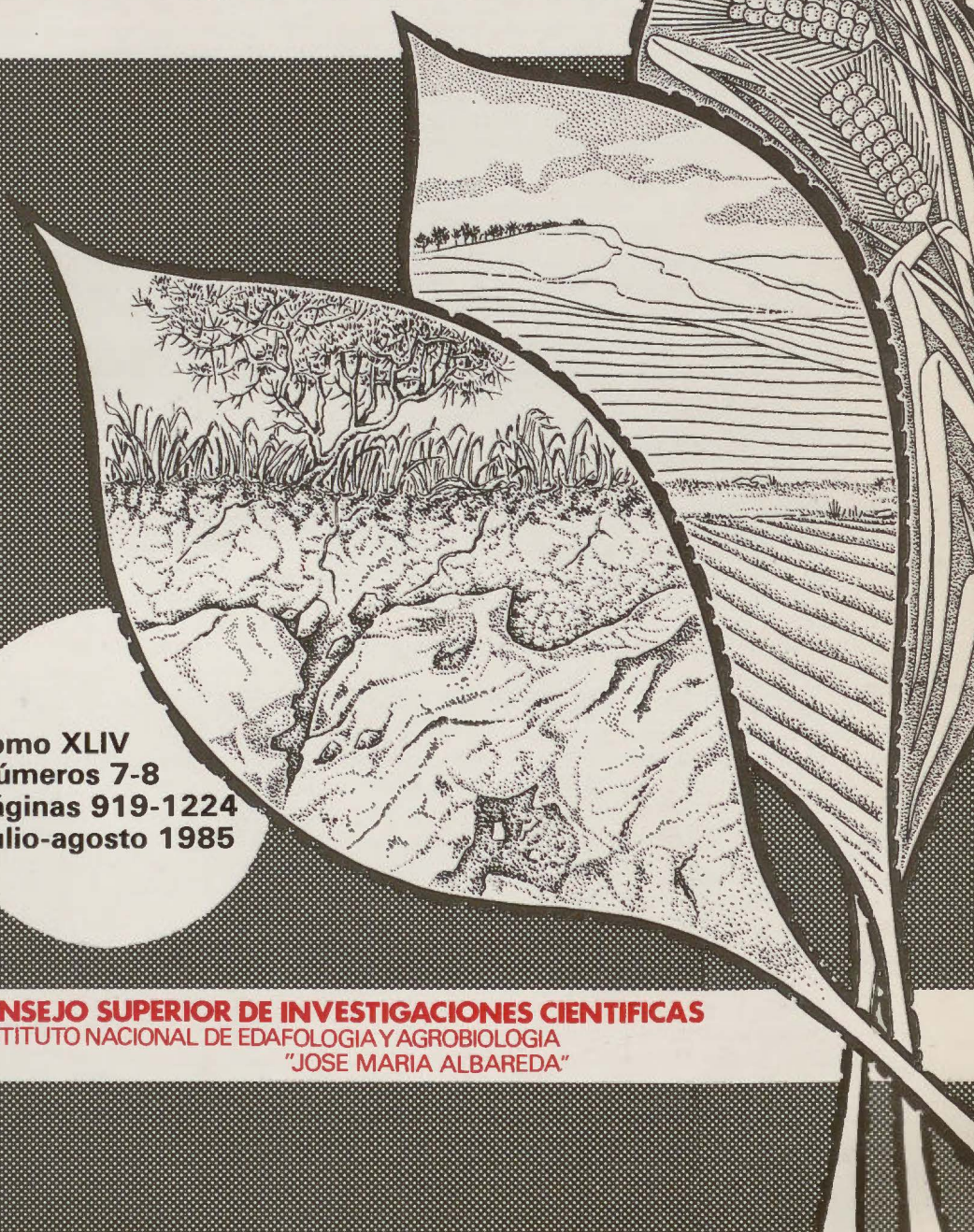


ANALES DE EDAFOLOGIA Y AGROBIOLOGIA

A large, stylized leaf graphic that serves as a frame for the central illustration. The leaf is filled with a detailed black and white illustration. The top portion of the leaf shows a landscape with a line of trees on a hillside. The middle portion shows a field with rows of crops. The bottom portion shows a cross-section of soil with roots and a small animal, possibly a mole, in the lower layers. The background of the entire cover is a dark, textured pattern.

**Tomo XLIV
Números 7-8
Páginas 919-1224
Julio-agosto 1985**

CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTIFICAS
INSTITUTO NACIONAL DE EDAFOLOGIA Y AGRIBIOLOGIA
"JOSE MARIA ALBAREDA"

SUMARIO

	Págs.
I. SUELOS.—Física	
Nuevo método para estimar la evapotranspiración potencial y el déficit de precipitación. Fórmulas para Salamanca y Zamora, por <i>F. de Pablo, A. Egido, L. J. Rivas y J. Garmendia</i>	919
Estudio climatológico del Valle del Guadalquivir mediante un modelo vectorial (Análisis de componentes generalizado), por <i>R. Roman y M. C. Navarro</i>	941
I. SUELOS.—Química	
Alfisosoles de los Montes de Toledo. III. Perfil ultic palexeralf. Estudio mineralógico de la fracción arcilla por difracción de Rayos X y espectroscopia infrarroja, por <i>P. Recio y M. T. García-González</i>	963
Alfisosoles de los Montes de Toledo. IV. Perfil ultic palexeralf. Estudio mineralógico de la fracción arcilla por métodos térmicos de análisis. Determinaciones analíticas elementales, por <i>P. Recio y M. T. García-González</i>	977
Determinación de la actividad fosfatasa en suelos gallegos. Precisiones al método de <i>Sarathchandra y Perrot</i> , por <i>M.^a C. Trasar Cepeda, F. Gil Sotres y F. Guitián Ojea</i>	987
Contribución al estudio de la movilización de nitrógeno en ecosistemas del centro de España, por <i>A. García-Villaraco y F. Velasco de Pedro</i>	993
Movilización y fijación biológica de cationes en ecosistemas forestales. I. Dinámica del Ca y Mg en los horizontales superficiales del suelo, por <i>A. García-Villaraco</i>	1001
Electromelioration of saline-alkali soils - a review, by <i>L. L. Somani</i>	1009
I. SUELOS.—Biología	
Efectos de la deforestación sobre los suelos de la comarca de Antequera (Málaga).III. Análisis y evaluación, por <i>R. Delgado Calvo-Flores, G. Barceló y J. Párraga</i>	1015
I. SUELOS.—Génesis, Clasificación y Cartografía	
Los xerumbrepts bajo matorral de alta montaña de la vertiente sur de Sierra Nevada (Granada), por <i>G. Delgado Calvo-Flores, J. Párraga Martínez, E. Serrano Molina y R. Delgado Calvo-Flores</i>	1029
Aplicación de un análisis multivariante a los suelos de la Alfaguara (Sierra de Alfacar-Granada), por <i>I. García Fernández, M. Simón Torres, A. Polo Sánchez</i>	1045
I. SUELOS.—Fertilidad	
Presence and characterization of <i>micrococcus luteus</i> in a bare soil, by <i>M. A. Sagardoy</i>	1059
Soil managements and use of ¹⁵ N-Labelled fertilizer for wheat in semiarid Argentina. 2, por <i>R. A. Rosell, R. M. Martínez y K. Ch. Sommer</i>	1069
Contribución al conocimiento de la utilización del agua del suelo por las especies forestales (<i>Quercus robur</i> y <i>Pinus pinaster</i>) bajo clima templado húmedo, por <i>A. Paz González y F. Díaz-Ferros Viqueira</i>	1081
Fertilizer and foliar sampling trials in two stages of development of the flower bud in the rose 'Mercedes', by <i>C. E. Alvarez, M. Fernández, V. García and A. E. Carracedo</i>	1101
Poder fertilizante de los lodos residuales: efecto sobre el contenido total y disponibilidad de Fe, Mn, Cu, Co y Ni, por <i>M. L. Andrade Couce, A. Mateos Beato y F. Guitián Ojea</i>	1123
Añadición de lodos residuales a un suelo ácido: influencia sobre el contenido total, disponibilidad y absorción por el cultivo, de Zn, Pb, Cr y Cd, por <i>M. L. Andrade Couce, M. Bao Iglesias y F. Guitián Ojea</i>	1141
II. BIOLOGIA VEGETAL.—Nutrición	
Estudio comparativo de metodologías de control nutricional en plantas de pimiento cultivadas en invernadero bajo sistema de riego localizado, por <i>C. F. Alcaraz, M. A. Martínez-Cañadas, F. Martínez-Sánchez y F. Sevilla</i>	1157
II. BIOLOGIA VEGETAL.—Fisiología	
Inducción y cultivo de callos procedentes de explantes de hipocotilo, cotiledón y radícula de <i>Erysimum scoparium</i> , por <i>J. F. Pérez Francés, F. Valdés, A. J. Carmona y A. C. Blesa</i>	1173
II. BIOLOGIA VEGETAL.—Agrobiología	
Diversidad florística y heterogeneidad ambiental en una dehesa de Sierra Morena, por <i>T. Marañón Arana</i>	1183
TRABAJO RECAPITULATIVO	
Revisión monográfica de la aplicación de técnicas de microanálisis de Rayos-X en biología Vegetal, por <i>J. M. Pozuelo y M. R. de Felipe</i>	1199
BIBLIOGRAFIA	1225



NUEVO METODO PARA ESTIMAR LA EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL Y EL DEFICIT DE PRECIPITACION. FORMULAS PARA SALAMANCA Y ZAMORA.

Por

F. DE PABLO; A. EGIDO; L. J. RIVAS Y J. GARMENDIA.
Centro de Edafología y Biología aplicada de Salamanca.

SUMMARY

NEW METHOD TO APPRECIATE THE POTENCIAL EVAPOTRANSPIRATION AND THE RAINFALL DEFICIT. FORMULAE FOR SALAMANCA AND ZAMORA.

In this study we explain and determine the influence of certain geo-climatic factors, (height of observatory; laplacian of the height or curvature of the land surface; distances to sea corrected with North (343°) and Northwest (291°) orientations; eastward distance to the trajectory described by the fronts or depresions crossing from the Cantabric to the Mediterranean sea), in the potencial evapotranspiration and rainfall deficit.

We carry out a non-linear "point by point" multiple regression confrontation, for the provinces of Salamanca and Zamora, between these geo-climatic factors and the element and index above mentioned. We confirmed the importance of the factor second-order terms and persent equations (for the representative months of January and August) wich can measure the quantitative results of both variables.

INTRODUCCION

Para ciertas aplicaciones en Climatología, donde es necesario poner en evidencia aspectos parciales del clima de una zona, o tener en cuenta fines determinados, se emplean los denominados índices metereológicos, que son a su vez funciones más o menos complejas de los diversos elementos metereológicos que configuran el clima de la región.

Uno de estos índices es el denominado déficit de precipitación, que presenta, un relevante significado hidrológico, ya que su determinación se funda en consideraciones simultáneas de evaporación y precipitación. Presenta aplicaciones específicas en áreas agrícolas, ganaderas o de estudios hidrometereológicos, tales como balances en los caudales y aprovechamiento del agua en los embalses.

La cuantificación de este índice debería venir expresada por la diferencia entre la evaporación real efectiva de un lugar y la precipitación registrada en el mismo, siendo por lo tanto la expresión de la disminución o déficit en el balance del agua existente.

Ante la dificultad de evaluar la evaporación efectiva mediante medidas directas, ya que la cantidad de agua evaporada en un área de la su-

perficie terrestre y en un período de tiempo determinado depende por una parte, de la extensión y condiciones de la superficie evaporante, —agua libre, suelo impregnado, cubierta vegetal—, y por otra de los diversos elementos metereológicos reinantes—, radiación solar, temperatura, humedad, viento, turbulencias—, por lo general debemos contentarnos con estimarla de aproximada mediante deducciones teóricas.

Mucho más generalizadas que las medidas de evaporación efectiva, que presenta sólo un valor aproximado, lo están las de evapotranspiración potencial, que depende únicamente de las condiciones climáticas reinantes, ya que la superficie evaporante es siempre la misma.

La medida directa de la evapotranspiración potencial tampoco es factible ya que, cualquiera que sea el instrumento empleado es prácticamente imposible que el dispositivo evaporante del mismo, refleje con exactitud la evaporación de una superficie libre de agua pura.

Por este motivo y ante las dificultades inherentes al empleo de evaporímetros, diversos investigadores, VYSOTSKII (1905), IVANOV (1948) THORNTHWAITE (1948), PENMAN (1954, 1956, 1963), TURC (1954, 1955), GARMENDIA, J. (1955), GARMENDIA, M. P. (1974) y SECO (1974), entre otros han estudiado la posibilidad de determinar indirectamente el valor medio de la evapotranspiración potencial, previo conocimiento de los valores de ciertos elementos climáticos que intervienen en el proceso de evaporación.

La realidad es, sin embargo, que ninguno de los métodos directos o indirectos en la medida de la evaporación o poder desecante de la atmósfera, (GARMENDIA, M. P.), es completamente satisfactoria, ya que al contrastarlo con la experiencia, los resultados no pueden considerarse concordantes más que en casos limitados.

Es por ello por lo que proponemos un nuevo enfoque del problema, en el que de manera general, partiendo de variables sencillas en su obtención y mediante su posterior tratamiento matemático-estadístico, obtengamos relaciones empíricas concordantes en un alto grado con los valores observados. Todo esto permitiría determinar valores de la evapotranspiración potencial y el déficit de precipitación en lugares con carencia de observaciones metereológicas que servirían para su posterior aplicación en el campo de la Agrobiología.

FUNDAMENTOS TEORICOS

El método por nosotros propuesto, tiene sus fundamentos en un trabajo anterior, DE PABLO (1985), en el que queda claramente demostrado como es posible evaluar los distintos elementos climáticos, y por lo tanto sus múltiples combinaciones o índices, partiendo de una serie de factores geo-climáticos previamente determinados.

Estos factores geo-climáticos son distintos parámetros geográficos que dan explicación y determinan mediante su inclusión paso a paso, en ecuaciones de valoración o regresiones múltiples de carácter no-lineal, la distribución de cada uno de los elementos climatológicos más comunes

o los distintos índices, tales como la evapotranspiración y el déficit de precipitación que nos ocupa.

Al venir determinado el déficit de precipitación por la diferencia entre la evapotranspiración potencial y la precipitación de un lugar, las influencias de los diversos factores geo-climáticos vendrán expresadas y cuantificadas tanto por la evapotranspiración como por el elemento precipitación.

FACTORES GEO-CLIMATICOS ELEGIDOS

La influencia de las barreras montañosas en la distribución y cantidad de la precipitación ha sido puesta de manifiesto en numerosos estudios, y en todos ellos el efecto de la altitud en la distribución vertical de la precipitación variaba ampliamente para diferentes lugares geográficos.

Al poder establecer diversidad de relaciones entre precipitación y altitud, es posible deducir de esto, un aumento del fenómeno en áreas montañosas. Por lo general en estas zonas la orografía es muy acusada y existen grandes discontinuidades en los perfiles topográficos. Es por lo tanto en estas zonas donde hay que introducir un parámetro citado por autores tales como HERNANDEZ FUENTES, J. A. (1974) y EGIDO, A. (1984), que se denomina laplaciana de la altitud y representa la curvatura promedio de la superficie del suelo, expresando cuantitativamente la diferencia respecto de la altitud media del entorno de un lugar considerado.

Así mismo es un hecho bien conocido que la influencia de la continentalidad o distancia al mar, y de las bajas presiones actuantes sobre la zona estudiada, origen de la existencia de precipitaciones, presentan un rápido decrecimiento a medida que nos alejamos de ellas.

Por otra parte, el elemento evapotranspiración es función directa, por encima de cualquier otro factor, de la variable temperatura, estando esta última directamente influenciada tanto por la altitud como por la orografía y situación geográfica (longitud y latitud).

Es por ello por lo que según nuestros criterios, todos estos parámetros son factores fundamentales en el estudio y valoración de los elementos meteorológicos evapotranspiración y precipitación y como tal en la del índice climático déficit de precipitación.

Por todo esto hemos elegido para efectuar la parte experimental de este trabajo los siguientes factores geo-climáticos:

- H altitud del observatorio (m)
- Δh_3 laplaciana de la altitud con un radio de 3 km. Su cálculo se ha realizado siguiendo las consideraciones teóricas expuestas por EGIDO (1984). (m/km²).
- D_N, D_{NO} distancias al mar en dirección norte (orientación 343°) y en dirección noroeste (orientación 291°). Estas distancias han sido corregidas teniendo en cuenta la distribución de preci-

pitación existente a lo largo de las costas Cantábrica y Gallega. Su explicación reside en la variación y decrecimiento paulatino que la intensidad en la precipitación presenta a medida que nos alejamos de las fuentes de agua. La corrección ha consistido en dividir las correspondientes distancias por el valor que presentan las isoyetas a lo largo de las costas en esas direcciones mencionadas. (km)

- DE** distancia en dirección este. Viene a expresar la influencia de una de las trayectorias más comunes de las depresiones que afectan a la Península y en especial a la Cuenca del Duero y que tiene su paso del Mar Cantábrico al Mar Mediterráneo. Su cálculo se ha efectuado midiendo las distancias de las estaciones, con una dirección perpendicular a una línea imaginaria aproximadamente paralela a la trayectoria seguida por el frente, y que une Irún con la desembocadura del río Ebro en Tortosa (Tarragona). Además esta trayectoria presenta una dirección paralela al Sistema Ibérico, sistema montañoso que delimita por su parte noroeste la Cuenca, y que en cierta medida conforma su clima. (km)

RELACION MATEMATICA

La mayoría de los autores consultados consideran como suficiente una relación lineal entre los diversos parámetros elegidos como variables independientes y los elementos meteorológicos. HERNANDEZ FUENTES (1974), WOLFSON (1975), EGIDO, A. (1984).

Otros autores como MUKELI (1972), STORR y FETGUSON (1972), indican que no es necesario presentar una relación de tipo lineal entre ambas variables. Es más, para alguno de ellos como ocurre con la altitud, es fácilmente explicable la relación de segundo orden que presenta frente al elemento precipitación.

Nosotros, ampliando este razonamiento, proponemos en nuestro trabajo, para el elemento e índice climático estudiado, una relación que tenga en cuenta no sólo las contribuciones de las formas simples o lineales, sino las formas de segundo orden o cuadráticas de los factores considerados.

$$X_i = f(H, H^2, \Delta h_3, \Delta h_3^2, D_i, D_i^2)$$

donde X_i es el elemento o índice estudiado.

H, H^2 es la altitud de la estación en forma lineal y cuadrada.

$\Delta h_3, \Delta h_3^2$ es la laplaciana de la altitud lineal y cuadrática. Por motivo del tratamiento informático este factor aparecerá como Lap_3 y Lap_3^2 .

D_i, D_i^2 es la distancia al mar o a las bajas presiones, en su forma lineal y de segundo orden.

La influencia de cada uno de estos factores y sus contribuciones parciales al cálculo general de la evapotranspiración y déficit de precipitación, ya sea en su forma simple o cuadrada, será motivo de estudio en la parte experimental del presente trabajo.

RESULTADOS EXPERIMENTALES

Los datos de evapotranspiración potencial teórica y precipitación observada han sido tomados de los expuestos por GARMENDIA, J. (1964, 1967) en sus trabajos para 54 localidades sobre el clima de las provincias de Salamanca y Zamora. Los valores de evapotranspiración citados fueron deducidos mediante la aplicación de la clásica ecuación deducida por THORNTHWAITE en función de valores de temperatura media, que sigue aún plenamente vigente para aquellos lugares o estaciones donde la única variable meteorológica medida sea la termométrica.

El período de tiempo empleado para nuestro análisis es el comprendido entre 1931-1960, si bien hay que hacer constar la pequeña densidad de puntos representativos y la escasez o lagunas existentes en los boletines mensuales. De cualquier forma el método propuesto e ilustración de su sencilla aplicación en la valoración de la evapotranspiración potencial y déficit de precipitación, servirán de orientación para trabajos más detallados.

Considerando que la obtención y exposición del conjunto de todos los meses del año supondría un proceso reiterativo carente de interés, hemos realizado los cálculos para dos meses considerados como característicos por ser valores extremos, tales como enero y agosto.

El tratamiento de los datos lo hemos llevado a cabo mediante la terminal Univac d c T 2000 del Centro de Cálculo de la U. de Salamanca traduciendo los datos a lenguaje Fortran V, y empleando el programa "Análisis de regresión múltiple: Subprograma de regresión", perteneciente al manual de programación S.P.S.S. (Statistical Package for the Social Sciences) de NIE, N.H y otros (1975).

Las estaciones de las provincias de Salamanca y Zamora empleadas para la valoración y determinación de la evapotranspiración potencial y déficit de precipitación, así como de sus factores geo-climáticos, para los dos meses considerados, son los 54 expuestos en la Tabla I.

Presentamos en L-1 y L-3 la salida resumen del programa empleado donde, además del número y orden de prelación en que han sido aceptados o incluidos los factores en la regresión múltiple (R.M.) de carácter no-lineal, se muestran los coeficientes de la ecuación (B), los coeficientes normalizados (Beta), el error estándar de cada uno de estos coeficientes (Std error B), así como el estadístico de Snedecor (F) necesario para conocer el nivel de significación o tolerancia.

Así mismo se indican los coeficientes de correlación individuales y acumulados (Simple R, múltiple R) para cada variable independiente o factor geo-climático, como también los coeficientes de determinación simple y acumulados, o porcentajes de explicación del fenómeno a partir de dichos factores (RSQ change, R square).

En el proceso de R. M. no-lineal paso a paso empleado, podemos destacar los siguientes puntos a la vista de los listados resúmenes obtenidos.

EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL

En L-1 presentamos los resultados experimentales obtenidos para la evapotranspiración potencial. Comprobamos como han sido aceptados todos los factores geo-climáticos propuestos tanto en su forma lineal como en la cuadrática, confirmando de esta manera la importancia y contribución de estas últimas y por lo tanto de las relaciones no-lineales, en su explicación.

En los dos meses presentados, el factor predominante es la altitud del observatorio en su forma lineal, siendo los más influyentes a continuación, por lo que respecta al mes de enero (apartado a), la distancia a la trayectoria de las bajas presiones en dirección este, la altitud del observatorio en su forma cuadrática, la distancia al mar con orientación norte y la laplaciana de la altitud tanto en su forma lineal como en la de segundo grado.

El resto de los factores que presentan una menor influencia son: las distancias al mar en dirección norte y noroeste, así como la distancia en dirección este en sus formas cuadráticas, y la forma lineal de la distancia al mar con orientación noroeste.

Los resultados correspondientes al mes de agosto según podemos ver en el apartado b, indican que además de la altitud del observatorio el orden en que contribuyen los factores a la explicación de la evapotranspiración es: laplaciana de la altitud en su forma cuadrática, la distancia en dirección este a la trayectoria de la depresión considerada, la distancia al mar con orientación noroeste, el término de segundo orden de la altitud y de la distancia al mar en dirección noroeste, la distancia al mar con orientación norte en forma cuadrática y lineal, siendo finalmente la distancia en dirección este en forma cuadrática y la forma lineal de la laplaciana de la altitud las últimas contribuciones al elemento.

Según todo lo expuesto, las ecuaciones que son capaces de valorar la evapotranspiración potencial de la zona estudiada, partiendo de la R. M. de carácter no-lineal deducida en función de los factores geo-climáticos propuestos son:

$$\begin{aligned} \text{"Enero"} \quad E = & 17,58 - 1,19 \cdot 10^{-1} H + 0,54 \cdot 10^{-1} DE + 0,82 \cdot 10^{-6} H^2 \\ & - 0,29 \cdot 10^{-1} D_n + 0,52 \cdot 10^{-1} Lap_3 - 0,60 \cdot 10^{-3} Lap_3^2 + \\ & 0,32 \cdot 10^{-4} D_n^2 - 0,27 \cdot 10^{-4} D_E^2 + 0,46 \cdot 10^{-3} D_{NO}^2 \\ & - 0,16 D_{NO} \end{aligned}$$

coef. de correl. global $r = 0,79$
porcentaje de explicación 62%

----- VARIABLES IN THE EQUATION -----

VARIABLE	B	BETA	STD ERROR B	F
H	-.1192573-001	-1.03659	.00874	1.860
DE	.5478512-001	1.32009	.08833	.385
H2	.8248567-006	-1.3482	.00000	.041
DN	-.2983350-001	-.89370	.03996	.557
LAP3	.5171180-001	.75974	.02472	4.377
LAPC3	-.6037290-003	-1.37431	.00029	4.215
DN2	.3195027-004	-.50808	.00007	.197
DE2	-.2768916-004	-.56622	.00010	.070
DN02	.4676053-003	2.22883	.00028	2.788
DN0	-.1578354+000	-2.14923	.09690	2.653
(CONSTANT)	.1758812+002			

----- VARIABLES NOT IN THE EQUATION --

VARIABLE	BETA IN	PARTIAL	TOLERANCE
----------	---------	---------	-----------

MAXIMUM STEP REACHED

STATISTICS WHICH CANNOT BE COMPUTED ARE PRINTED AS ALL NINES.

..... MULTIPLE REGRESSION

DEPENDENT VARIABLE.. E EVAPORACION

SUMMARY TABLE

VARIABLE		MULTIPLE R	R SQUARE	R SQ CHANGE	SIMPLE R	B
H	ALTITUD	.66000	.43559	.43559	-.66000	-.1192573-001
DE	DISTANCIA ESTE	.73970	.54716	.11156	.31157	.5478512-001
H2	ALTITUD CUADRADO	.74874	.55987	.01271	-.65911	.8248567-006
DN	DISTANCIA NORTE	.75887	.57589	.01602	.29299	-.2983350-001
LAP3	LAPLAC	.76274	.58101	.00512	.37483	.5171180-001
LAPC3	LAPLAC CUADRADO	.77196	.59592	.01491	.33692	-.6037290-003
DN2	DISTANCIA NORTE CUADRADO	.77242	.59664	.00072	.26886	.3195027-004
DE2	DISTANCIA ESTE CUADRADO	.77413	.59928	.00264	.31802	-.2768916-004
DN02	DISTANCIA NOROESTE CUADRADO	.77514	.60084	.00156	-.18200	.4676053-003
DN0	DISTANCIA NOROESTE	.78996	.62404	.02320	-.23574	-.1578354+000
(CONSTANT)						.1758812+002

a) mes de enero.

L-1.—Resultados de la evapotranspiración potencial (meses de enero, y agosto).

----- VARIABLES IN THE EQUATION -----					----- VARIABLES NOT IN THE EQUATION --			
VARIABLE	B	BETA	STD ERROR B.	F	VARIABLE	BETA IN	PARTIAL	TOLERANCE
M	-.7484391-001	-1.37147	.03953	3.584				
LAPC3	-.5790106-003	.27787	.00133	.190				
DE	-.2126921+000	-1.08043	.39936	.284				
DNO	.4198436+000	1.20523	.43810	.918				
M2	.2731589-004	.94124	-.00002	2.208				
DNO2	-.1119757-002	-1.12520	.00127	.782				
DM	.2139100+000	1.35091	.18068	1.402				
DM2	-.3642811-003	-1.22123	.00033	1.254				
DE2	.3018725-003	1.30138	.00047	.405				
LAP3	.3333163-001	.10324	.11175	.089				
(CONSTANT)	.1304547+003							

MAXIMUM STEP REACHED

STATISTICS WHICH CANNOT BE COMPUTED ARE PRINTED AS ALL NINES

..... MULTIPLE REGRESSION

DEPENDENT VARIABLE.. E EVAPORACION

		SUMMARY TABLE					
VARIABLE		MULTIPLE R	R SQUARE	RSQ CHANGE	SIMPLE R	B	
M	ALITUD	.65974	.43526	.43526	-.65974	-.7484391-001	
LAPC3	LAPLAC CUADRADO	.74309	.55219	-.11693	.64612	-.5790106-003	
DE	DISTANCIA ESTE	.78130	.61043	.05825	.27760	-.2126921+000	
DNO	DISTANCIA NOROESTE	.78781	.62065	.01022	-.09339	.4198436+000	
M2	ALTITUD CUADRADO	.79552	.63285	.01220	-.53780	.2731589-004	
DNO2	DISTANCIA NOROESTE CUADRADO	.80293	.64469	.01184	.02340	-.1119757-002	
DM	DISTANCIA NORTE	.80486	.64780	.00311	.34943	.2139100+000	
DM2	DISTANCIA NORTE CUADRADO	.80924	.65488	.00707	.31444	-.3642811-003	
DE2	DISTANCIA ESTE CUADRADO	.81099	.65771	.00283	.28391	.3018725-003	
LAP3	LAPLAC	.81143	.65841	.00071	.59626	.3333163-001	
(CONSTANT)						.1304547+003	

b) mes de agosto.

L-1.—Resultados de la evapotranspiración potencial (meses de enero, y agosto).

..... MULTIPLE REGRESSION

DEPENDENT VARIABLE: E		FROM VARIABLE LIST 1 REGRESSION LIST 1		PLOT OF STANDARDIZED RESIDUAL				
SEQUEN	OBSERVED E	PREDICTED E	RESIDUAL	-2.0	-1.0	0.0	1.0	2.0
1	9.00000	8.579869	+.420131			I		
2	10.00000	9.613111	+.386889			I		
3	8.00000	7.620778	+.379221			I		
4	9.00000	7.692099	1.307901			I		
5	9.00000	9.097087	-.097087			I		
6	11.00000	10.46584	+.534156			I		
7	8.00000	8.478158	-.478158			I		
8	7.00000	8.009364	-1.009364			I		
9	7.00000	7.774757	-.774757			I		
10	8.00000	8.933161	-.933161			I		
11	8.00000	9.004070	-1.004070			I		
12	8.00000	8.130520	-.130519			I		
13	11.00000	10.01711	+.982889			I		
14	8.00000	7.243743	+.756257			I		
15	9.00000	8.389052	+.610948			I		
16	7.00000	7.160466	-.160466			I		
17	7.00000	6.446600	+.553399			I		
18	8.00000	8.137163	-.137163			I		
19	8.00000	4.590248	-.590248			I		
20	10.00000	7.912519	2.087481			I		
21	13.00000	12.93041	+.069596			I		
22	9.00000	9.284526	-.284526			I		
23	8.00000	7.113398	+.886602			I		
24	9.00000	8.590895	+.409105			I		
25	8.00000	8.056552	-.056552			I		
26	9.00000	8.446027	+.553973			I		
27	6.00000	8.306092	-2.306092			I		
28	11.00000	11.03723	-.037229			I		
29	8.00000	8.409163	-.409163			I		
30	7.00000	7.905619	-.905619			I		
31	7.00000	6.613377	+.386623			I		
32	10.00000	9.059419	+.940581			I		
33	11.00000	10.42040	+.579596			I		
34	8.00000	8.367160	-.367160			I		
35	8.00000	7.249349	+.750651			I		
36	10.00000	8.135930	1.864070			I		
37	8.00000	8.377257	-.377257			I		
38	-0.00000	-3857118	-.3857118			I		
39	9.00000	10.01400	-1.013999			I		
40	8.00000	7.483773	+.516227			I		
41	7.00000	8.424948	-1.424948			I		
42	9.00000	8.440853	+.559147			I		
43	7.00000	7.713605	-.713605			I		
44	7.00000	8.015303	-1.015303			I		
45	12.00000	7.888183	4.111817			I		
46	11.00000	10.91387	+.086161			I		
47	7.00000	8.354531	-1.354531			I		
48	7.00000	8.050169	-1.050169			I		

SPSS BATCH SYSTEM

01A27885

PAGE 14

49	7.00000	9.282086	-2.282086			I		
50	11.00000	8.482764	2.517236			I		
51	7.00000	8.789651	-1.789651			I		
52	10.00000	7.837415	2.162585			I		
53	10.00000	9.218184	-.818184			I		
54	8.00000	7.653309	+.346691			I		

a) mes de enero.

L-2.--Valores de evapotranspiración potencial observada, deducida y gráfica de los residuos.

..... MULTIPLE REGRESSION

DEPENDENT VARIABLE: E FROM VARIABLE LIST 1
REGRESSION LIST 1

SERNUM	OBSERVED E	PREDICTED E	RESIDUAL	-2.0	PLOT OF STANDARDIZED RESIDUAL	2.0
					-1.0 0.0 1.0	
1	121.0000	123.8974	-2.89746		I	
2	148.0000	125.5636	22.43640		I	
3	124.0000	121.6417	2.35859		I	
4	119.0000	120.5893	-1.58936		I	
5	119.0000	124.5744	-5.57442		I	
6	127.0000	129.7583	-2.75837		I	
7	121.0000	127.3399	-6.33980		I	
8	109.0000	121.0336	-12.03368		I	
9	119.0000	119.3845	-0.38458		I	
10	124.0000	121.4426	2.55736		I	
11	122.0000	123.6010	-1.60106		I	
12	119.0000	121.5041	-2.60406		I	
13	117.0000	123.0451	-6.04509		I	
14	121.0000	120.2606	0.73922		I	
15	109.0000	119.5253	-0.52535		I	
16	119.0000	118.0053	0.99468		I	
17	124.0000	116.4152	7.58485		I	
18	125.0000	121.8905	3.30948		I	
19	121.0000	122.0554	-1.05537		I	
20	121.0000	121.7884	-0.78837		I	
21	165.0000	165.7642	-0.76417		I	
22	121.0000	125.8503	-4.85028		I	
23	119.0000	118.1718	0.82821		I	
24	124.0000	121.4409	2.55909		I	
25	125.0000	120.9969	4.00302		I	
26	123.0000	123.1557	-0.15570		I	
27	127.0000	121.7049	5.29512		I	
28	145.0000	128.5700	16.42998		I	
29	117.0000	122.7967	-5.79673		I	
30	121.0000	121.2361	-0.23607		I	
31	119.0000	116.1388	2.86124		I	
32	119.0000	124.7906	-5.79060		I	
33	118.0000	123.7468	-5.74675		I	
34	119.0000	120.5842	-1.58423		I	
35	123.0000	118.7231	4.27676		I	
36	124.0000	121.9943	2.00507		I	
37	123.0000	123.4177	-0.41772		I	
38	99.00000	98.94857	0.05142		I	
39	124.0000	124.2461	-0.24612		I	
40	123.0000	120.2906	2.70933		I	
41	119.0000	119.0817	-0.08169		I	
42	123.0000	121.9188	1.08115		I	
43	131.0000	122.5480	8.45195		I	
44	119.0000	118.8749	0.12517		I	
45	105.0000	105.0257	-0.02571		I	
46	131.0000	127.6783	3.32160		I	
47	117.0000	118.9068	-1.90681		I	
48	118.0000	118.6870	-0.68702		I	

SPSS BATCH SYSTEM

03027885

PAGE 14

49	112.0000	112.8333	-0.83330		I	
50	114.0000	123.9351	-9.93515		I	
51	121.0000	118.5345	2.46565		I	
52	117.0000	121.9161	-4.91610		I	
53	120.0000	125.7806	-5.78061		I	
54	124.0000	123.6746	0.32534		I	

b) mes de agosto.

L-2.—Valores de evapotranspiración potencial observada, deducida y gráfica de los residuos.

$$\begin{aligned} \text{"Agosto"} \quad E = & 130,4 - 0,74 \cdot 10^{-1} H + 0,57 \cdot 10^{-3} \text{Lap}_3^2 - 0,21 D_E \\ & + 0,42 D_{NO} + 0,27 \cdot 10^{-4} H^2 - 0,11 \cdot 10^{-2} D_{NO}^2 + 0,21 \\ & D_N - 0,36 \cdot 10^{-3} D_N^2 + 0,30 \cdot 10^{-3} D_E^2 + 0,33 \cdot 10^{-1} \\ & \text{Lap}_3 \end{aligned}$$

coef. de correlación global $r = 0,81$

porcentaje de explicación 66%

En el listado L-2, apartados a y b, podemos apreciar el número de orden de los observatorios empleados (Seqnum) y nombrados en la Tabla I, los valores de evapotranspiración empleados como teóricos u observados (observed), los valores deducidos (predicted) según las ecuaciones anteriormente expuestas, así como las diferencias entre ambos valores (residual).

Por último, en el margen derecho de los citados listados están representados estos residuos o diferencias normalizadas, para cada observatorio, respecto del valor promedio, estando referida la mayor o menor correspondencia en unidades de desviación típica.

Comprobamos como salvo los observatorios de : 20-Salamanca, 27-Villagonzalo en la provincia de Salamanca y 35-Camarzana de Terra, 36-Cañizo, 45-Puebla de Sanabria, 49-Ufones, 50-Venialbo y 52-Villalpando en la provincia de Zamora para el mes de enero; y los observatorios de: 8-La Maya, 15-Navasfrías, 28-Villar de Ciervo en Salamanca para el mes de agosto, no sobrepasan el valor de $\pm 0,1$ unidades de desviación, indicando de esta manera el alto nivel de aceptación de los resultados.

DEFICIT DE PRECIPITACION

Estando este índice definido en función de la evapotranspiración potencial y la precipitación del lugar o zona a estudiar, parece claro que los resultados que se obtengan deberán presentar cierta correspondencia o similitud con los expuestos para el primero de los elementos climáticos citados.

Esto queda confirmado al efectuar el proceso de R. M. de carácter no-lineal, entre el índice en cuestión y las formas lineales y cuadráticas de los cinco factores geo-climáticos considerados como explicativos del fenómeno.

En L-3 podemos observar los resultados obtenidos mediante el proceso de selección de predictores paso a paso, para los dos meses considerados.

Comprobamos como para el mes de enero (apartado a), el alcanzar un coeficiente de determinación o porcentaje de explicación del fenómeno de un 72%, viene motivado por las aportaciones de la altitud del observatorio en su forma cuadrática y la distancia al mar corregida, con orientación noroeste.

Para el mes de agosto (apartado b), este mismo porcentaje de explicación se obtiene mediante la contribución de: altitud del observato-

TABLA I

Valores de los factores geo-climáticos. Datos de evapotranspiración potencial y déficit de precipitación (observado y deducido).

Observatorio	H(m)	Lap3 (m/km ²)	DNO (km)	DN (km)	DE (km)	Evapotr. Potencial (mm)				Déficit de Precipit. (mm)			
						ENERO		AGOSTO		ENERO		AGOSTO	
						OB.	DED.	OB.	DED.	OB.	DED.	OB.	DED.
Salamanca													
1. Abusejo	838	7,00	176,7	293,3	460,8	9,0	8,6	121	123,9	-49	-49,3	116	113,4
2. Bañobarez	743	-9,00	145,7	330,4	483,4	10,0	9,6	148	125,6	-55	-54,2	134	113,5
3. Cantalapietra	783	3,77	209,5	272,7	384,8	8,0	7,6	124	121,6	-31	-29,8	115	110,8
4. Carrascal del Obispo	903	-1,77	186,6	254,7	448,0	9,0	7,7	119	120,6	-55	-54,3	108	110,1
5. Casillas de Flores	853	-14,50	139,5	344,0	524,0	9,0	9,1	119	124,6	-84	-78,7	115	117,5
6. Ciudad Rodrigo	653	-0,22	166,8	375,5	495,2	11,0	10,5	127	129,7	-33	-39,7	109	120,1
7. Fuenteguiñaldo	860	-14,66	142,8	373,6	514,4	8,0	8,5	121	122,3	-76	-77,6	117	115,8
8. La Maya	840	-2,44	211,6	283,1	426,4	7,0	8,0	109	121,0	-35	-37,2	94	109,5
9. Larrodrigo	870	9,77	219,8	310,0	408,8	7,0	7,8	119	119,4	-55	-35,2	102	106,6
10. Ledesma	780	2,44	180,4	217,2	424,0	8,0	8,9	124	121,4	-39	-42,4	112	108,1
11. Martiago	811	0,77	156,8	386,1	501,6	8,0	9,0	122	123,6	-54	-62,7	113	116,2
12. Matacan	795	4,33	212,5	273,5	400,0	8,0	8,1	119	125,5	-29	-30,1	110	109,2
13. Mieza	646	-69,77	141,0	299,2	464,8	11,0	10,0	117	123,0	-71	-43,7	100	103,9
14. Moriscos	843	0,33	200,8	261,5	402,4	8,0	7,2	121	120,3	-35	-40,1	113	110,0
15. Navasfrias	902	37,66	136,6	350,5	453,6	9,0	8,4	109	119,5	-98	-69,6	98	105,1
16. Pedraza de Alba	897	0,01	223,1	305,5	406,4	7,0	7,2	119	118,0	-24	-38,8	107	105,9
17. Peñaranda	899	-3,77	228,6	294,0	384,0	7,0	6,6	124	116,9	-37	-38,1	113	105,2

TABLA I

Valores de los Factores geo-climáticos. Datos de evapotranspiración potencial y déficit de precipitación (observado y deducido). (Continuación)

Observatorio	H(m)	Lap3 (m/km ²)	DNO (km)	DN (km)	DE (km)	Evapotr. Potencial (mm)				Déficit de Precipit. (mm)			
						ENERO		AGOSTO		ENERO		AGOSTO	
						OB.	DED.	OB.	DED.	OB.	DED.	OB.	DED.
18. Rinconada de la Sierra	998	45,33	179,5	253,1	458,4	8,0	8,1	125	121,9	-87	-64,7	105	109,3
19. Robliza de Cojos	818	0,00	185,6	240,6	439,2	8,0	8,6	121	122,0	-35	-44,8	112	110,2
20. Salamanca	797	-1,33	202,1	261,9	409,6	10,0	7,9	123	121,8	-30	-35,0	112	110,8
21. Salto de Saucelle	120	182,22	138,3	310,9	472,0	13,0	12,9	165	165,8	-45	-43,7	153	156,6
22. Sancti-Espiritu	756	5,00	164,2	352,0	477,6	9,0	9,3	121	125,8	-39	-47,8	112	116,1
23. Santiz	893	-0,88	182,6	227,3	413,6	8,0	7,1	119	118,2	-47	-53,8	106	107,2
24. Tamames	898	6,44	179,0	244,2	461,6	9,0	8,6	124	121,4	-46	-56,7	118	109,4
25. Tejeda y Segoyuela	927	6,22	187,2	259,6	457,6	8,0	8,0	125	121,0	-67	-56,1	112	109,5
26. Valverdon	766	5,11	191,6	255,4	412,0	9,0	8,4	123	123,1	-49	-34,1	110	111,2
27. Villagonzalo	800	6,89	21,7	276,4	405,6	6,0	8,3	127	121,7	-27	-30,5	119	109,0
28. Villar del Ciervo	679	4,66	140,9	347,7	497,6	11,0	11,0	145	128,6	-36	-50,9	133	114,9
29. Villar de Peralonso	820	4,44	169,7	267,6	443,2	8,0	8,4	117	122,8	-51	-49,1	106	111,2
30. Villamayor	828	-3,22	184,5	244,6	428,0	7,0	7,9	121	121,2	-36	-46,0	107	110,5
31. Horcajo Medianero	1008	7,88	222,2	309,8	416,0	7,0	6,6	119	116,1	-44	-50,3	107	102,5
32. Vilamuerto	767	5,77	162,3	284,7	450,4	10,0	9,0	119	124,8	-52	-45,9	107	112,5
33. Villavieja de Yeltes	740	-2,22	151,8	215,3	470,4	11,0	10,6	118	123,8	-42	-53,3	101	108,1

TABLA I

Valores de los Factores geo-climáticos. Datos de evapotranspiración potencial y déficit de precipitación (observado y deducido). (Continuación)

Observatorio	H(m)	Lap3 (m/km ²)	DNO (km)	DN (km)	DE (km)	Evapotr. Potencial (mm)				Déficit de Precipit. (mm)			
						ENERO		AGOSTO		ENERO		AGOSTO	
						OB.	DED.	OB.	DED.	OB.	DED.	OB.	DED.
Zamora													
34. Breto	698	10,60	170,3	184,7	355,0	8,0	8,4	119	120,6	-34	-38,6	110	108,0
35. Camarzana	748	2,01	173,3	186,6	350,0	4,0	7,2	123	118,7	-49	-44,7	114	109,0
36. Cañizo	676	7,32	174,5	192,4	349,0	10,0	8,1	124	122,0	-32	-34,8	113	110,7
37. Carbellino	767	-5,80	184,6	253,2	430,0	8,0	8,4	123	123,4	-39	-39,3	112	112,6
38. C. Cardena	1640	-48,33	133,3	129,6	394,0	0,0	0,4	99	98,9	-163	-166,1	55	55,3
39. Fermoselle	671	-13,52	138,7	242,4	445,0	9,0	10,0	124	124,2	-58	-48,3	101	107,3
40. Fontanilla de Castro	718	-5,78	177,8	195,5	362,0	8,0	7,5	123	120,3	-50	-39,6	110	110,4
41. Luelmo	772	3,33	142,0	226,2	400,0	7,0	8,4	119	119,1	-44	-54,5	100	103,4
42Montamarta	687	4,11	168,1	201,1	370,0	9,0	8,4	123	121,9	-36	-37,0	110	109,1
43. Moraleja	688	-6,21	163,7	221,3	373,0	7,0	7,7	131	122,5	-32	-39,0	122	111,7
44. Muga de Alba	740	11,00	161,0	187,4	358,0	7,0	8,0	119	118,9	-47	-46,3	107	106,2
45. Puebla de Sanabria	960	-0,33	131,2	137,1	390,0	12,0	7,9	105	105,0	-99	-89,0	90	83,9
46. Salto de Villacampo	603	47,00	143,7	219,5	390,0	11,0	10,9	131	127,0	-39	-32,5	119	108,2
47.S. Cristina de la Polvorosa	720	0,67	217,2	186,7	344,0	7,0	8,3	117	118,9	-32	-27,8	104	106,4
48. Tabara	744	6,89	180,7	179,8	360,0	7,0	8,0	118	118,7	-65	-40,8	104	106,8
49. Ufones	810	11,10	125,0	180,4	388,0	7,0	9,3	112	112,8	-34	-68,2	80	90,9
50. Venialbo	705	20,10	168,7	234,2	375,0	11,0	8,5	114	123,9	1	-34,4	95	111,3
51. Villa de Alba	740	8,89	160,3	182,0	380,0	7,0	8,8	121	118,5	-62	-46,5	108	103,4
52 Villalpando	688	4,78	214,0	207,0	328,0	10,0	7,8	117	121,9	-27	-24,3	104	112,2
53. Zamora	630	8,67	175,0	216,8	372,0	10,0	9,2	120	125,2	-29	-26,3	110	110,6
54. Toto	660	1,11	167,0	220,4	350,0	8,0	7,6	124	123,7	-35	-34,7	114	113,5

----- VARIABLES IN THE EQUATION -----					----- VARIABLES NOT IN THE EQUATION -			
VARIABLE	B	BETA	STD ERROR B	F	VARIABLE	BETA IN	PARTIAL	TOLERANCE
H2	.3357495-005	.04529	.00004	.007				
DN0	.6012310+000	.67570	.95672	.395				
DE2	-.7829575-003	-1.32145	.00104	.571				
DN02	-.7010999-003	-.27581	.00277	.064				
DE	.6175417+000	1.22812	.87211	.501				
H	-.1173525+000	-.84188	.08633	1.848				
DN	.2353561+000	.58190	.39457	.356				
DN2	-.3867713-003	-.50763	.00071	.296				
LAPC3	-.2507656-002	-.47114	.00290	.746				
LAP3	.1872169+000	.22702	.24404	.589				
(CONSTANT)	-.1929529+003							

MAXIMUM STEP REACHED

STATISTICS WHICH CANNOT BE COMPUTED ARE PRINTED AS ALL NINES.

***** MULTIPLE REGRESSION *****

DEPENDENT VARIABLE.. EP DEFICIT

SUMMARY TABLE

VARIABLE		MULTIPLE R	R SQUARE	RSQ CHANGE	SIMPLE R	B
H2	ALTITUD CUADRADO	.71109	.50565	.50565	-.71109	.3357495-005
DN0	DISTANCIA NOROESTE	.84347	.71145	.20580	.45817	.6012310+000
DE2	DISTANCIA ESTE CUADRADO	.84873	.72034	.00889	-.26439	-.7829575-003
DN02	DISTANCIA NOROESTE CUADRADO	.85303	.72765	.00732	.44942	-.7010999-003
DE	DISTANCIA ESTE	.85688	.73425	.00660	-.26480	.6175417+000
H	ALITUD	.86046	.74039	.00613	-.61528	-.1173525+000
DN	DISTANCIA NORTE	.86276	.74436	.00397	.08070	.2353561+000
DN2	DISTANCIA NORTE CUADRADO	.86370	.74599	.00163	.00600	-.3867713-003
LAPC3	LAPLAC CUAORADO	.86424	.74691	.00092	.06554	-.2507656-002
LAP3	LAPLAC	.86621	.75032	.00342	.18370	.1872169+000
(CONSTANT)						-.1929529+003

a) mes de enero.

L-3.—Resultados del déficit de precipitación (meses de enero y agosto).

----- VARIABLES IN THE EQUATION -----				
VARIABLE	B	BETA	STD ERROR B	F
H	.1035568-001	.13914	.04869	.045
DN	.3156284+000	1.46154	.22253	2.012
LAP3	-.1305227+000	-.29642	.13763	.899
DNO	.1333801+001	2.80745	.53957	6.111
DE2	.9213452-003	2.91234	.00058	2.485
DE	-.7728204+000	-2.87848	.49185	2.469
DN2	-.4769325-003	-1.17234	.00040	1.417
DNO2	-.3654158-002	-2.69233	.00156	5.490
LAPC3	.3501681-002	1.23215	.00164	4.573
H2	-.1859977-004	-.46993	.00002	.675
(CONSTANT)	.1058907+003			

----- VARIABLES NOT IN THE EQUATION -----			
VARIABLE	BETA IN	PARTIAL	TOLERANCE

MAXIMUM STEP REACHED

STATISTICS WHICH CANNOT BE COMPUTED ARE PRINTED AS ALL NINES.

***** MULTIPLE REGRESSION *****

DEPENDENT VARIABLE.. EP DEFICIT

SUMMARY TABLE							
VARIABLE		MULTIPLE R	R SQUARE	RSQ CHANGE	SIMPLE R		B
H	ALITUD	.68870	.47430	.47430	-.68870		-.1035568-001
DN	DISTANCIA NORTE	.77090	.59428	.11998	.44047		.3156284+000
LAP3	LAPLAC	.78570	.61733	.02304	.51188		-.1305227+000
DNO	DISTANCIA NOROESTE	.79776	.63642	.01910	.08231		.1333801+001
DE2	DISTANCIA ESTE CUADRADO	.81271	.66049	.02406	.28024		.9213452-003
DE	DISTANCIA ESTE	.81908	.67090	.01041	.26840		-.7728204+000
DN2	DISTANCIA NORTE CUADRADO	.82684	.68366	.01276	.39352		-.4769325-003
DNO2	DISTANCIA NOROESTE CUADRADO	.82982	.68860	.00494	.15822		-.3654158-002
LAPC3	LAPLAC CUADRADO	.84680	.71707	.02847	.50836		.3501681-002
H2	ALITUD CUADRADO	.84938	.72144	.00437	-.66293		-.1859977-004
(CONSTANT)							.1058907+003

b) mes de agosto

L-3.—Resultados del déficit de precipitación (meses de enero y agosto).

rio, distancia al mar corregida en dirección norte, laplaciana de la altitud, distancia al mar corregida con orientación noroeste, las formas cuadrática y lineal de la distancia a la trayectoria mencionada en dirección este, siendo en última instancia las formas cuadráticas de las distancias al mar en dirección norte y noroeste así como laplaciana de la altitud y la altitud al observatorio, las contribuciones de los distintos factores geoclimáticos.

Las aportaciones de la totalidad de los factores conllevan a una explicación del déficit de precipitación del 75%, con un coeficiente global de correlación del 0,86 en el mes de enero; existiendo para el mes de agosto un porcentaje de explicación global del 72% y un coeficiente de correlación de 0,85.

Según estos resultados las ecuaciones capaces de valorar o explicar, casi en su totalidad, el déficit de precipitación observado en los lugares estudiados son:

$$\begin{aligned} \text{enero} \quad E-P = & -192,9 + 0,33 \cdot 10^{-5} H^2 + 0,60 D_{NO} - 0,78 \cdot 10^{-3} D_E^2 \\ & - 0,70 \cdot 10^{-3} D_{NO}^2 + 0,11 H + 0,23 D_N - 0,38 \cdot 10^{-3} \\ & D_N^2 - 0,25 \cdot 10^{-2} \text{Lap}_3^2 + 0,18 \text{Lap}_3 + 0,61 D_E \\ & \text{coef. de correlación global } r = 0,86 \\ & \text{porcentaje de explicación } 75\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{agosto} \quad E-P = & 105,8 + 0,10 \cdot 10^{-1} H + 0,31 D_N - 0,13 \text{Lap}_3 + 1,30 \\ & D_{NO} + 0,92 \cdot 10^{-3} D_E^2 - 0,77 D_E - 0,47 \cdot 10^{-3} D_N^2 - 0,36 \\ & \cdot 10^{-2} D_{NO}^2 + 0,35 \cdot 10^{-2} \text{Lap}_3^2 - 0,18 \cdot 10^{-4} H^2 \\ & \text{coef. de correlación global } r = 0,85 \\ & \text{porcentaje de explicación } 72,1\% \end{aligned}$$

Los valores del déficit de precipitación empleados como observados o teóricos para cada estación empleada, así como los valores deducidos mediante las ecuaciones de valoración antes expuestas, vienen expresados en el listado L-4 (apartados a y b).

Así mismo presentamos los valores residuales normalizados o diferencia entre el déficit observado y deducido, representados gráficamente respecto del valor promedio.

Sóloamente los observatorios de 13-Mieza, 15-Navasfrías para el mes de enero, y 2-Bañobarez, 8-La Maya, 28-Villar de Ciervo para el mes de agosto, por lo que respecta a la provincia de Salamanca, así como 48-Tábara, 49-Ufones y 50-Venialbo en el mes de enero, y 50-Venialbo en el mes de agosto referidos a la provincia de Zamora presentan una desviación típica superior a $\pm 0,1$ unidades quedando por tanto el 91,8% (enero) y el 92,6% (agosto) del total de observatorios dentro de los límites de confianza exigidos.

En ambos meses estudiados comprobamos el excelente ajuste o concordancia de los resultados obtenidos, confirmando de este modo la bondad del planteamiento propuesto, y por lo tanto la importancia de introducir o tener en cuenta los términos de segundo orden de los distintos factores geo-climáticos previamente determinados.

..... MULTIPLE REGRESSION
 DEPENDENT VARIABLE: EP FROM VARIABLE LIST 1
 REGRESSION LIST 1

SEGMUN	OBSERVED EP	PREDICTED EP	RESIDUAL	-2.0	1.0	0.0	1.0	2.0
1	-49.00000	-49.32964	.3296379					*
2	-55.00000	-54.25645	-4.7435401					*
3	-31.00000	-29.80859	-1.191407					*
4	-55.00000	-54.35937	-6.6406319					*
5	-44.00000	-74.76670	-5.231295					I *
6	-33.00000	-39.76527	6.765274					I *
7	-76.00000	-77.60643	1.606427					I *
8	-35.00000	-37.17533	2.175330					I *
9	-55.00000	-35.24232	-19.75768					I *
10	-39.00000	-42.40364	3.403640					I *
11	-54.00000	-62.75997	8.759972					I *
12	-29.00000	-30.07766	1.077662					I *
13	-71.00000	-43.70292	-27.29708					I *
14	-35.00000	-40.15891	5.158906					I *
15	-98.00000	-69.65640	-28.34360					I *
16	-24.00000	-39.79768	14.79768					I *
17	-37.00000	-38.15748	1.157478					I *
18	-87.00000	-64.71060	-22.28940					I *
19	-35.00000	-44.87040	9.870401					I *
20	-33.00000	-35.02422	5.024218					I *
21	-45.00000	-43.70510	-1.294500					I *
22	-39.00000	-47.79195	8.791952					I *
23	-47.00000	-53.83208	6.832084					I *
24	-46.00000	-56.73089	10.73089					I *
25	-67.00000	-56.13253	-10.86747					I *
26	-49.00000	-34.11914	-14.88086					I *
27	-27.00000	-30.48070	3.480699					I *
28	-36.00000	-50.97497	14.97497					I *
29	-51.00000	-44.11770	-7.11770					I *
30	-36.00000	-46.02361	10.02361					I *
31	-44.00000	-50.33814	6.338144					I *
32	-52.00000	-45.91169	-6.088307					I *
33	-42.00000	-53.26139	11.26139					I *
34	-34.00000	-34.63907	4.639073					I *
35	-49.00000	-44.67223	-4.327766					I *
36	-32.00000	-34.82409	2.824094					I *
37	-39.00000	-39.32241	.3224108					I *
38	-163.00000	-166.1124	3.112365					I *
39	-59.00000	-44.26819	-4.639073					I *
40	-50.00000	-39.57320	-10.42680					I *
41	-44.00000	-54.52308	10.52308					I *
42	-36.00000	-37.02190	1.021901					I *
43	-32.00000	-36.98007	6.980067					I *
44	-47.00000	-46.31705	-4.6829467					I *
45	-59.00000	-89.00984	-30.00984					I *
46	-39.00000	-32.53656	-6.46344					I *
47	-32.00000	-27.83159	-4.168413					I *
48	-65.00000	-40.82913	-24.17087					I *

SPSS BATCH SYSTEM			OSR174P5	PAGE 14
49	-34.00000	-68.22949	34.22949	I *
50	1.000000	-34.41156	35.41156	I *
51	-62.00000	-46.49274	-15.50726	I *
52	-27.00000	-24.34683	-2.653168	I *
53	-29.00000	-26.35697	-2.643030	I *
54	-35.00000	-34.69083	-1.031721	I *

a) mes de enero.

L-4.—Valores del déficit de precipitación observado, deducido y gráfica de los residuos.

***** MULTIPLE REGRESSION *****

DEPENDENT VARIABLE: EP FROM VARIABLE LIST 1
REGRESSION LIST 1

SEGNUM	OBSERVED EP	PREDICTED EP	RESIDUAL	-2.0	PLOT OF STANDARDIZED RESIDUAL	2.0
					-1.0 0.0 1.0	
1	116.0000	113.4228	2.577188		I *	
2	114.0000	113.4850	20.513500		I	
3	115.0000	110.8518	4.148220		I	
4	108.0000	110.0937	-2.093644		I *	
5	115.0000	117.4616	-2.461605		I *	
6	109.0000	120.0677	-11.06771		I	
7	117.0000	115.7419	1.238306		I *	
8	98.00000	109.4998	-15.49956		I	
9	107.0000	106.5657	-4.565714		I	
10	112.0000	108.0642	3.933815		I *	
11	113.0000	116.1880	-3.187990		I *	
12	110.0000	109.2298	.7702088		I *	
13	100.0000	103.8775	-3.877538		I	
14	113.0000	109.9805	3.019478		I *	
15	98.00000	105.1171	-7.117106		I	
16	107.0000	105.8999	1.100101		I *	
17	113.0000	105.2271	7.772664		I *	
18	105.0000	109.3342	-4.334228		I	
19	112.0000	110.2273	1.772705		I *	
20	112.0000	110.7860	1.213987		I *	
21	153.0000	153.5634	-.5634179		*	
22	112.0000	116.0825	-4.082456		I	
23	106.0000	107.2052	-1.205298		I *	
24	118.0000	109.3796	8.620417		I	
25	117.0000	109.5455	7.454515		I *	
26	110.0000	111.2186	-1.218595		I *	
27	119.0000	109.0586	9.941414		I	
28	113.0000	114.8644	-1.8644		I	
29	106.0000	113.2505	-5.250521		I	
30	107.0000	110.4730	-3.473038		I	
31	107.0000	102.5383	4.461655		I *	
32	107.0000	112.5045	-5.504460		I	
33	101.0000	108.0933	-7.093261		I	
34	110.0000	108.0231	1.976899		I *	
35	114.0000	109.0554	4.944446		I	
36	113.0000	110.6815	2.318487		I *	
37	117.0000	112.6125	4.387875		*	
38	55.00000	55.27280	-.272801		*	
39	101.0000	107.3222	-6.322167		I	
40	110.0000	110.4531	-.4530728		*	
41	100.0000	103.4010	-3.400989		I *	
42	110.0000	109.0698	.9301318		I *	
43	122.0000	111.7251	10.27492		I	
44	107.0000	106.1939	.8060671		I *	
45	90.00000	83.87901	6.120986		I	
46	119.0000	108.2237	10.77633		I	
47	104.0000	106.4116	-2.411584		I	
48	104.0000	106.7882	-2.788154		I	

SPSS BATCH SYSTEM

0409585 PAGE 14

49	80.00000	90.85377	-10.85377	I
50	95.00000	111.2740	-16.27399	I
51	108.0000	103.4182	4.581768	I
52	104.0000	112.1625	-8.162507	I
53	110.0000	110.6568	-.6567599	I
54	114.0000	113.4811	.5184853	I

b) mes de agosto.

L4.-Valores del déficit de precipitación observado, deducido y gráfica de los residuos.

CONCLUSIONES

— En este trabajo explicamos y determinamos la influencia que presentan ciertos factores geo-climáticos, (altitud del observatorio, laplaciana de la altitud o curvatura de la superficie del suelo, distancias al mar corregidas con orientaciones norte (343°) y noroeste (291°) y distancia a la trayectoria seguida por los frentes o depresiones a su paso del Mar Cantábrico al Mar Mediterráneo), en la evapotranspiración potencial y déficit de precipitación en las provincias de Salamanca y Zamora.

— Planteamos y desarrollamos las regresiones múltiples de carácter no-lineal entre los factores geo-climáticos propuestos y el elemento e índice climáticos mencionado.

— Confirmamos la importancia y contribución de las formas lineal y cuadrática de cada uno de los factores, presentando así mismo ecuaciones correspondientes capaces de valorar y determinar resultados cuantitativos de ambas variables estudiadas.

— Por último hacemos notar la importancia del método propuesto, que hemos desarrollado en profundidad para general conocimiento aplicándolo a las provincias de Salamanca y Zamora, como medio de determinar estos índices meteorológicos aun en regiones o lugares en donde se carezca de datos observados. Además destacamos su posterior uso en estudios de aplicación práctica, a corto y largo plazo, como pueden ser la planificación de riegos o la regulación del caudal de los embalses, etc...

RESUMEN

En este trabajo explicamos y determinamos la influencia que presentan ciertos factores geo-climáticos, (altitud del observatorio; laplaciana de la altitud o curvatura de la superficie del suelo; distancias al mar corregidas con orientaciones norte (343°) y noroeste (291°); distancia en dirección este a la trayectoria seguida por las depresiones que afectan a la Península y efectúan su paso del Mar Cantábrico al Mar Mediterráneo), en la evapotranspiración potencial y el déficit de precipitación.

Realizamos y desarrollamos un análisis de regresión múltiple (R. M.), para las provincias de Salamanca y Zamora, de carácter no-lineal "paso a paso", entre estos factores geo-climáticos y el elemento e índice mencionados. Confirmamos la importancia de tener en cuenta los términos de segundo orden de los factores y presentamos ecuaciones correspondientes a dos meses característicos (enero y agosto), capaces de valorar los resultados cuantitativos de ambas variables.

BIBLIOGRAFIA

- EGIDO, A. (1984). "Influencia de las características geográficas y topográficas en la distribución de la precipitación en la Cuenca del Duero" Serie: Resúmenes de Tesis Doctorales. T-C-353 U. de Salamanca.
- GARMENDIA, J. (1955). "La evaporación y la sublimación como procesos irreversibles". Rev. Geof. n° 55, 14, pp. 219-227.
- GARMENDIA, J. (1964). "Estudio climatológico de la provincia de Salamanca". Instituto de Orientación y Asistencia Técnica del Oeste, C. S. I. C., Salamanca.
- GARMENDIA, J. (1967). "Estudio Agrobiológico de la provincia de Zamora". Instituto de Orientación y Asistencia Técnica del Oeste, C. S. I. C., Salamanca.
- GARMENDIA, M. P. (1974). "Poder desecante de la atmósfera en las proximidades del suelo". Agrochimica XVIII, n° 3, abril.
- HERNANDEZ FUENTES, J. A. (1974). "Importancia de la Laplaciana de la altitud en las cantidades de precipitación recogidas". Tesis Doctoral de Ciencias, Univ de Salamanca.
- IVANOV, N. N. (1948). "Landscape-climatic zones of the earth surface." Proceedings of the All Soviet Geographical Conference, New Series, vol I, Acad. of Sci. of the V. S. S. R., Leningrado.
- MUKELY, R. (1972). "Les repartition des precipitations atmospheriques en Albanie." Distribution of precipitation in nountainous areas, vol I; proceedings of the Geilo Symposium, Geilo, Norway, July 31 - August 5, W. M. O. n° 326, Geneva.
- NIE, N. H. and OTHERS. (1975). "Statistical Package for the Social Sciences." McGraw-Hill Book Company, 2th Ed. N. Y.
- PENMAN, H. L. (1954). "Evaporation over parts of Europe". C. R. Ass. Int. Hydrol. Sci, 3, pp. 168-176, Rome.
- PENMAN, H. L. (1956). "Discusion on evaporation", Neth. J. Agric. Sci. 4, pp. 87-97.
- PENMAN, H. L. (1963). "Vegetation and hydrology". Technical comunication n° 53, Commonw. Bureau of Soils, Harpened, Ed. Common. Agr. Bureau, Farnham Royal, Bucks, England.
- DE PABLO, F. (1985). "Nuevo método para la estimación de los valores de los distintos elementos climatológicos. Aplicación a la Cuenca del Duero". Serie Resúmenes de Tesis Doctorales. Fac. de Ciencias, Univ. de Salamanca. T-C-376.
- SECO, J. y OTROS. (1974). "Posibilidad de previsión de condiciones de sequedad en los continentes". I Asam. Nac. de Geed. y Geof., pp. 525-540.
- STORR, D. and FERGUSON, H. L. (1972). "The distribution of precipitation in some mountains Canadian wathersheds". Distribution of precipitation in mountains areas, vol II; proceedings of the Geilo Symposium, Geilo, Norway, July 31 - August 5, W. M. O., n° 326, Geneva.
- THORNTHWAITE, C. W. (1948). "An approach towards a rational classification of climate". Georg. Rev. 38 (1), pp. 55-94.
- TURC, L. (1954). "Le bilan d'eau des sols. Relation entre les precipitations, evaporation et l'ecoulement". Ann. Agron., 5, pp. 491-596.
- TURC, L. (1955). "Le bilan d'eau des sols. Relations entre les precipitations, l'evaporation et l'ecoulement." Ann. Agron. 6, pp. 5-131.
- VYSOTSKII, G. N. (1905). "Steppes of the European U.S.S.R." Encyclopedia of Rusian Agriculture, vol 9, Ed. A. Deuriena.
- WOLFSON, N. (1975) "Topographical effect on standars normals of rainfall over Israel". Weather, 30 (5), pp. 138-144.

ESTUDIO CLIMATOLÓGICO DEL VALLE DEL GUADALQUIVIR MEDIANTE UN MODELO VECTORIAL (ANÁLISIS DE COMPONENTES GENERALIZADO)

Por

R. ROMAN y M. C. NAVARRO

Facultad y E. U. de Informática
Universidad Politécnica de Madrid. Madrid 28033

SUMMARY

A CLIMATOLOGICAL STUDY OF THE GUADALQUIVIR BASSIN BY MEANS OF GENERALISED COMPONENTS ANALYSIS

By means of the generalized component analysis (GCA) a climatological study of the Guadalquivir basin has been achieved, precipitation and temperature data being provided by 43 stations during the 41-70 period.

According to the results, the area's climate is characterized by three index: one is pluviometrical and the other two are thermal.

The 1st thermal index, which has the biggest statistical weight, varies with the distance from the sea according to the equation

$$D = 415,4 - 0,14 (31,5 + I)^2$$

The altitude gradient modifies the distance from the sea in the equation, in ΔD given by the following expression:

$$\begin{aligned} \Delta D &= 81,3 (2,04 - H/D) & \text{if } H > 20 \text{ m.} \\ \Delta D &= -70,7 (2,2 + L(H/D)) & \text{if } H < 20 \text{ m.} \end{aligned}$$

We can deduce from the two equations the "critical" gradients for an optimal influence of the sea in the basin climatology.

The other two index are linked to the local situations of the stations (Foën effect, urban effect,...) and also to the alternation of scarce and heavy precipitation areas.

The three index graph shows the differences and similarity of the various climates in the valley.

INTRODUCCION

Los estudios climatológicos precisan el análisis y comparación de largas series de datos. Cuando se consideran varias decenas de estaciones la comparación de todos los valores es difícil.

El uso de índices climáticos, definidos mediante distintas fórmulas simplifica este problema. Se obtienen así distintas clasificaciones climáticas, en las que los índices se adaptan al objeto de la clasificación (agrícola,...).

Sin embargo la posibilidad de efectuar estudios climáticos basados en la totalidad de los datos disponibles, se ha desarrollado últimamente gracias al uso de procedimientos estadísticos de tratamientos de datos. Dentro de estos procedimientos, el análisis de componentes principales ha sido el más utilizado (4) y (6). Mediante este método se resume en unos pocos factores la mayor parte de la información contenida en los datos originales o de partida.

El mayor inconveniente de este método es que la factorización es única como consecuencia de optimizar el grado de resumen.

Recientemente (7) y (8) han desarrollado nuevos métodos de tratamiento de datos en los que la factorización puede hacerse siguiendo criterios previos del investigador, es decir ya no es única.

La pérdida en el grado de resumen queda compensada por la posibilidad de efectuar la factorización desde objetivos concordantes con el estudio que se pretende desarrollar.

En el presente trabajo exponemos los resultados obtenidos en el estudio del Valle del Guadalquivir mediante el procedimiento del análisis de componentes principales y una de las opciones del análisis generalizado (bases dirigidas), comparando las ventajas e inconvenientes de uno y otro.

RESUMEN DEL MODELO VECTORIAL

Desarrollo Matemático.

Para realizar un estudio climatológico es necesario disponer de los datos de temperaturas, precipitaciones,... (de n-variables en general) de cada estación incluida en el estudio.

Consideremos un espacio vectorial n-dimensional, en el que cada eje de la base canónica represente a una variable. En este espacio cada estación climática será un vector.

Definamos en este espacio el producto escalar, utilizando como matriz fundamental o de Gram, la matriz de coeficientes de correlación entre las n-variables ($R_{n \times n}$). Si esta matriz no es la unidad, las variables están ligadas y los ejes que las representan no son ortogonales.

Analícemos las propiedades de las bases ortonormales en un espacio como el que acabamos de definir.

Sea B ($e_1 \dots e_n$) la base que tiene asociada a la matriz R como producto escalar, B' ($a_1 \dots a_n$) una base ortonormal y α la matriz de cambio de base.

$$a_j = e_i \cdot \alpha_{ji} : \alpha_{ji} \quad (j = 1 \dots n) \text{ coord. contravariantes de } a_j$$

$$a_i = e_j^* \cdot \beta_{ji} : \beta_{ji} \quad (j = 1 \dots n) \text{ coord. covariantes de } a_i$$

$$e_j^* \text{ vectores duales de } e_j \quad (e_i \cdot e_j^* = \delta_{ij})$$

Entre las matrices α y β existe la siguiente relación:

$$\beta = \alpha \cdot R \quad (1.1)$$

$$\text{cumpliéndose además: } \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \beta_{ji}^2 = n \quad (1.2)$$

Una estación caracterizada por los datos $X_{1 \times n}$ estará ahora definida en la base ortonormal por $Y_{1 \times n}$.

$$Y = \alpha^{-1} \cdot X \quad (1.3)$$

$$\text{cumpliéndose por (1.1) y por ser ortonormales } \beta^T = \alpha^{-1} \quad (1.4)$$

Además por ser unitarios los vectores de ambas bases, las coordenadas covariantes son los cosenos de los ángulos de los vectores e_i , a_j : $\beta_{ji} = \cos(a_j \hat{e}_i)$. Para los vectores e_i de la base canónica, estos cosenos son los directores (la base sobre la que se proyectan es ortogonal) y cumplen:

$$\sum_{i=1}^n \beta_{ji}^2 = 1 \quad (1.5)$$

mientras que la suma para el otro subíndice ya no es la unidad (la base canónica no es ortogonal; la indicamos por la letra w).

$$\sum_{j=1}^n \beta_{ji}^2 = w_i \quad (1.6)$$

En el caso particular de que los vectores a_i sean los vectores propios de la matriz R , las ecuaciones (1.6) y (1.1) se transforman en:

$$\sum_{j=1}^n \beta_{ji}^2 = \lambda_i \text{ (valor propio asociado a } a_i)$$

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = n$$

Los mismos resultados que con el análisis de componentes principales (A. C. P.)

Interpretación de resultados

Con el cambio de base a un sistema ortonormal las estaciones quedan definidas por las coordenadas en esta base.

Las ecuaciones (1.2) y (1.6) permiten conocer el peso o importancia de los nuevos ejes o vectores de referencia. Así se dice que el eje i , de peso w_i , incluye un porcentaje de la información original igual a $w_i \cdot 100/n$.

El significado e interpretación de los nuevos vectores o ejes se hace a partir de (1.5). Cuanto más próximo a la unidad sea este el valor más paralelo es el nuevo eje con la variable. Esta misma ecuación permite cuantificar el grado de proyección de las variables primitivas en los nuevos ejes.

El cálculo de las nuevas coordenadas se hace mediante la ecuación (1.3), teniendo en cuenta la (1.4).

Diagonalizando R por semejanza, se obtiene una base de vectores propios y los mismos resultados que si se hubiese utilizado el análisis de componentes principales (A. C. P.).

Al ser este un caso particular para obtener la base ortogonal, las ecuaciones dadas en el epígrafe anterior, siguen siendo válidas, consiguiendo una interpretación de resultados del A. C. P. más fácil.

Método de Smidt

En este trabajo la base de vectores ortonormales se ha obtenido usando dos métodos de cálculo, el de vectores propios y el de Smidt. El primero de ellos, como se ha expuesto anteriormente, coincide con el A. C. P.

En el método de Smidt, los vectores se obtienen por combinación lineal de los de la base canónica mediante la expresión:

$$a_j = e_i + \lambda_j^i \cdot a_i \quad (i = 1 \dots j-1)$$

las condiciones $a_i \cdot a_j = 0$ si $i \neq j$ permiten hallar las λ_j^i .

De esta forma, el primer vector de la base ortonormal coincide con uno de la base canónica. El segundo (a elegir libremente) se sitúa en el plano definido por los dos vectores seleccionados y ortogonal al primero; esto equivale a descomponer el segundo en dos direcciones ortogonales.

De esta forma se dirige la nueva base según los criterios del investigador.

VALLE DEL GUADALQUIVIR: DATOS Y ESTACIONES

La cuenca baja del Guadalquivir está caracterizada por una extensa zona muy llana, que constituye las Marismas. Así, Sevilla situada a unos 100 kilómetros de la desembocadura, está a sólo 20 m. de altitud sobre el nivel del mar.

Siguiendo aguas arriba, el río se aproxima por una de sus márgenes a la Sierra, por el Norte, mientras por el Sur continúan las tierras llanas. El cauce alto discurre entre montañas.

El número de estaciones termo-pluviométricas es lo suficientemente amplio para seleccionar un conjunto representativo de las mismas que cubren todo el curso del río. También se han seleccionado estaciones, que aun siendo próximas geográficamente, pueden presentar diferencias climáticas por sus condiciones locales.

Todas las series de datos se refieren al período 1941-1970 y nos han sido facilitadas por los meteorólogos D. Inocencio Font y D. Carlos Almarza, del Instituto Nacional de Meteorología, a quien expresamos nuestro agradecimiento. Estos datos forman parte del Atlas recientemente publicado.

Las estaciones seleccionadas han sido las siguientes:

El número que precede a cada estación será utilizado en adelante en vez del nombre de la misma.

- | | |
|---|-------------------------|
| 1. Pantano Tranco Beas | 2. Cazorra |
| 3. La Iruela | 4. Cabra Sto. Cristo |
| 5. Solera | 6. Belmez-Moraleta |
| 7. Jodar | 8. Ubeda |
| 9. Puertas de Segura | 10. Beas de Segura |
| 11. Villacarrillo | 12. Jaén |
| 13. Linares | 14. El Centenillo |
| 15. Andujar | 16. Torredonjimeno |
| 17. Arjona | 18. Arjonilla |
| 19. Montoro | 20. Córdoba |
| 21. Pantano Pueblo Nuevo | 22. Posadas |
| 23. Hornachuelos | 24. Ecija |
| 25. Carmona | 26. Villanueva del Rio |
| 27. La Rinconada | 28. Sevilla-Universidad |
| 29. Sevilla-Tablada | 30. Alcalá de Guadaira |
| 31. Dos Hermanas | 32. Gelves-Torrequemada |
| 33. Almonte-Bodegonos | 34. Almonte-Albalorio |
| 35. Almonte-Los Cabezudos | 36. Almonte-La Mediana |
| 37. Puebla del Rio-Dehesa N. | 38. Utrera-Exclusa |
| 39. Las Cabezas-Exclusa 2. ^a | 40. Utrera |
| 41. Pantano Salado | 42. Trebujena |
| 43. Base Aérea de Jerez de la Frontera. | |

En la Tabla I se dan los datos de temperaturas máximas y mínimas mensuales así como las precipitaciones.

RESULTADOS

En primer lugar se ha utilizado el método de vectores propios (A. C. P.). Agotando el cálculo se obtienen los 36 vectores y valores propios. De estos últimos, a partir del 5 son inferiores a la unidad. Para los cuatro primeros se han obtenido los siguientes resultados:

- 16,0 para el primero, lo que supone un peso del 44,4%.
- 7,8 para el segundo (21, 7% de peso)
- 5,9 para el tercero (16, 4% de peso)
- 3,1 para el cuarto (8,6% de peso)

Acumuladamente, en los tres primeros ejes se llega hasta un 82,5% de información y con el cuarto se alcanza hasta el 91,1%. Por lo tanto si

TABLA I

Temperaturas Mínimas mensuales. Período 1941-70

ESTACION	E.	F.	M.	A.	M.	J.	J.	A.	S.	O.	N.	D.
1	2,9	3,6	5,6	7,8	11,1	14,9	18,2	18,1	15,4	10,9	6,8	3,3
2	2,1	2,8	4,9	7,4	11,4	15,7	19,2	19,0	16,2	10,9	6,2	2,5
3	2,2	2,9	5,2	7,3	11,6	16,0	19,7	19,5	16,3	10,8	5,9	2,1
4	2,3	2,8	4,9	7,0	10,4	14,3	17,5	17,3	14,7	10,3	6,2	2,7
5	0,3	1,0	3,1	5,5	9,5	13,8	17,5	17,1	13,9	9,0	4,4	0,6
6	2,5	3,2	5,0	7,0	10,1	13,5	16,7	16,2	13,8	9,8	6,2	3,1
7	4,9	5,5	8,0	9,9	13,3	17,0	20,4	20,3	17,5	13,0	8,8	5,1
8	3,8	4,5	6,7	8,8	12,2	16,0	19,2	19,2	16,5	11,9	7,8	4,3
9	2,4	3,1	5,6	8,0	11,5	15,4	18,8	18,4	15,5	10,7	6,0	2,5
10	5,1	5,9	8,2	10,4	13,9	17,9	21,5	21,4	18,5	13,6	9,2	5,5
11	3,0	3,7	6,1	8,3	12,3	16,7	20,6	20,4	17,4	11,9	7,4	3,6
12	4,9	5,5	7,7	9,8	13,3	17,2	20,5	20,3	17,6	13,0	8,8	5,2
13	3,6	4,3	6,8	9,1	12,8	16,9	20,3	20,2	17,3	12,3	7,7	3,9
14	2,2	2,8	5,0	7,1	10,6	14,5	17,7	17,4	14,8	10,3	6,2	2,7
15	4,9	5,6	8,1	10,2	13,7	17,6	20,8	20,6	17,8	13,2	8,8	5,2
16	4,7	7,3	9,8	12,0	15,9	20,2	23,9	23,6	20,7	15,6	10,9	7,0
17	4,1	4,9	7,2	9,5	13,1	17,1	20,5	20,1	17,3	12,7	8,1	4,5
18	5,0	5,9	8,2	10,7	14,5	18,5	22,4	22,0	19,1	14,1	9,5	5,6
19	4,5	4,2	6,6	8,7	12,3	16,2	19,3	19,1	16,4	12,0	7,5	3,9
20	4,7	5,5	8,3	10,3	13,7	17,3	19,5	19,5	17,7	13,3	8,6	5,2
21	2,8	3,3	5,9	7,9	10,6	14,1	16,3	16,2	14,3	10,5	6,1	3,0
22	4,0	4,8	7,6	9,7	13,0	16,7	18,9	18,8	16,8	12,5	8,0	4,6
23	5,1	5,9	8,2	10,1	12,8	16,0	18,0	18,3	16,5	13,0	8,8	5,6
24	4,5	5,3	8,0	9,9	13,2	16,8	19,0	19,2	17,4	13,0	8,5	5,0

TABLA 1 (Continuación)

Temperaturas Mínimas Mensuales. Período 1941-70

ESTACION	E.	F.	M.	A.	M.	J.	J.	A.	S.	O.	N.	D.
25	4,8	5,5	7,9	9,8	12,7	16,2	17,9	18,1	16,4	13,0	8,9	5,4
26	3,3	4,0	6,6	8,7	11,8	15,6	17,5	17,5	15,8	11,9	7,5	3,7
27	5,4	6,0	8,5	10,2	12,8	16,0	17,7	17,8	16,4	13,1	9,1	5,8
28	5,7	6,7	9,1	11,2	13,9	17,5	19,8	19,9	17,9	14,2	9,8	6,5
29	5,3	6,0	8,3	10,1	12,7	16,0	17,7	17,8	16,3	13,0	9,2	5,9
30	4,6	5,5	7,8	9,7	12,5	16,0	17,8	17,7	16,2	12,6	8,5	5,2
31	4,8	5,6	7,8	9,6	12,2	15,5	17,3	17,4	15,9	12,7	8,7	5,4
32	5,3	5,9	8,0	9,8	12,3	15,4	17,1	17,4	15,9	12,7	9,0	5,8
33	3,7	4,5	6,4	8,1	10,3	13,0	14,7	14,8	13,5	10,8	7,3	4,4
34	4,9	5,5	7,5	9,3	11,6	14,4	16,2	16,4	15,0	12,0	8,2	5,1
35	4,6	5,5	7,7	9,6	12,3	15,0	17,1	17,5	16,3	12,8	8,2	5,3
36	5,2	5,8	7,9	9,8	11,9	14,5	16,3	16,6	15,2	12,5	8,4	5,5
37	4,6	5,3	8,0	10,0	13,1	16,7	18,7	18,3	16,9	13,2	8,7	5,1
38	4,2	4,8	6,9	8,7	11,2	14,5	16,3	16,4	14,9	11,6	7,8	4,6
39	4,2	4,9	7,1	8,9	11,5	14,7	16,5	16,7	15,0	11,6	7,8	4,6
40	4,1	4,9	7,4	9,4	12,2	15,9	17,8	18,1	16,4	12,4	7,9	4,5
41	5,8	6,4	8,6	10,5	12,8	16,3	18,1	18,6	16,9	13,5	9,5	6,1
42	4,4	5,2	7,3	9,1	11,7	14,7	16,7	17,0	15,3	12,0	8,0	4,7
43	5,8	6,4	8,5	10,0	12,2	15,4	17,1	17,7	16,2	12,9	9,2	6,1

TABLA I

Temperaturas Máximas Mensuales. Período 1941-70

ESTACION	E.	F.	M.	A.	M.	J.	J.	A.	S.	O.	N.	D.
1	11,4	13,2	16,4	19,2	23,6	29,1	32,2	33,2	28,9	22,0	16,0	11,9
2	10,5	12,5	15,8	18,7	23,4	28,5	32,4	32,3	27,7	20,9	14,8	10,4
3	11,1	12,7	15,8	18,6	23,8	28,3	31,3	30,8	26,6	20,6	15,1	11,2
4	9,6	11,4	14,8	17,7	22,2	27,9	31,5	31,1	26,8	20,0	14,0	9,9
5	9,7	11,7	15,2	18,2	22,1	26,9	30,9	30,4	26,4	19,7	13,5	9,2
6	12,0	14,0	17,8	20,9	26,4	31,5	35,2	34,1	29,6	22,7	16,3	12,2
7	11,2	13,1	17,8	19,9	24,7	30,0	33,9	33,6	29,1	22,4	16,2	11,8
8	12,0	13,8	17,2	20,1	23,9	28,5	32,2	31,8	27,6	21,0	15,0	11,2
9	11,4	13,5	17,4	20,5	25,5	31,0	35,6	35,1	30,4	22,8	16,1	11,5
10	12,1	14,1	17,5	20,5	24,8	30,1	34,1	33,6	29,3	22,7	16,6	12,5
11	8,8	10,9	15,0	18,6	23,6	29,5	34,2	33,4	28,5	20,7	13,9	9,2
12	11,7	13,6	17,0	20,0	24,6	30,2	34,0	33,8	29,5	22,4	16,3	12,1
13	13,0	14,9	18,5	21,7	26,4	32,0	36,1	35,8	31,3	24,1	17,7	13,3
14	9,6	11,4	15,0	18,1	22,7	28,4	32,4	32,1	27,5	20,5	14,2	10,0
15	13,7	15,7	19,3	22,3	26,7	32,1	35,9	35,4	31,1	24,3	18,0	18,9
16	11,7	13,5	16,6	19,5	24,1	29,1	33,0	32,5	28,3	21,9	16,1	12,1
17	11,3	13,5	17,4	20,7	25,8	31,7	35,8	35,3	30,5	22,8	16,2	11,6
18	10,9	13,0	17,0	20,3	25,1	30,6	34,7	34,0	29,4	22,1	15,5	11,1
19	15,1	16,9	20,2	22,9	26,5	31,3	34,8	34,7	31,0	25,2	19,2	15,3
20	13,6	15,8	19,2	22,6	26,9	32,0	35,9	35,8	31,7	25,0	18,3	14,2
21	13,7	15,7	18,7	21,8	25,0	29,9	35,3	33,1	29,0	24,1	18,3	14,5
22	13,3	15,6	19,0	22,4	26,6	31,8	35,8	35,6	31,5	24,7	18,0	13,8
23	14,9	17,1	20,5	23,9	27,9	33,0	36,9	36,8	32,7	26,2	19,8	15,6
24	15,7	17,8	21,0	24,3	28,4	33,2	37,1	37,1	33,1	26,8	20,2	16,2

TABLA I (Continuación)

Temperaturas Máximas Mensuales. Período 1941-70

ESTACION	E.	F.	M.	A.	M.	J.	J.	A.	S.	O.	N.	D.
25	11,4	13,1	15,9	19,0	22,6	25,7	31,3	31,4	27,6	21,7	15,7	11,8
26	16,1	18,0	20,7	23,8	27,5	32,2	36,1	36,0	32,2	26,7	20,5	16,4
27	15,7	17,6	20,2	23,2	27,2	32,3	36,3	35,7	31,9	26,3	20,1	15,9
28	15,3	17,3	20,2	23,3	27,2	32,0	35,8	35,8	31,9	25,9	19,8	15,7
29	15,4	17,2	19,8	22,8	26,6	31,3	35,2	35,3	31,5	25,9	19,8	15,8
30	15,9	17,7	20,7	23,9	27,4	32,2	36,2	36,1	32,3	26,6	20,3	16,3
31	15,5	17,2	19,8	22,8	26,8	31,5	35,3	35,5	31,6	26,0	20,0	16,0
32	16,6	18,2	20,7	23,6	27,1	31,6	35,4	35,8	32,2	26,9	20,8	17,0
33	16,2	17,6	19,8	22,5	25,6	29,3	32,8	33,0	30,0	25,5	20,3	16,7
34	15,7	17,1	19,2	22,1	25,1	28,7	31,9	32,2	29,6	25,0	20,0	16,4
35	16,3	17,7	19,8	22,9	26,3	29,9	33,5	33,5	30,6	25,5	20,3	16,8
36	15,6	17,0	19,1	22,1	25,2	28,8	31,9	32,2	29,4	24,8	19,6	16,1
37	16,4	18,1	20,6	23,6	27,0	31,4	35,2	35,1	31,4	26,2	20,4	16,5
38	15,9	17,6	20,1	22,9	26,4	30,7	34,3	34,6	31,3	26,0	20,1	16,2
39	15,6	17,3	19,7	22,6	26,4	30,9	34,7	34,9	31,4	25,9	20,0	16,1
40	14,1	15,8	18,3	21,3	24,9	29,3	33,1	33,4	29,6	24,1	18,1	14,4
41	16,0	17,6	20,3	23,2	26,6	30,8	34,6	35,0	31,5	26,5	20,5	16,3
42	15,3	17,1	19,7	22,7	26,7	31,4	35,4	35,3	31,6	26,0	20,0	15,9
43	15,4	17,1	19,2	22,0	25,3	29,3	32,9	33,2	29,9	25,2	19,7	15,8

TABLA I

Precipitaciones Mensuales. Período 1941-70

ESTACION	E.	F.	M.	A.	M.	J.	J.	A.	S.	O.	N.	D.
1	102	97	141	82	62	31	7	7	42	69	81	125
2	103	98	94	72	60	30	8	13	45	73	79	111
3	113	113	105	92	74	32	5	11	50	83	89	121
4	52	51	56	51	34	20	8	12	31	37	43	59
5	59	63	75	47	41	20	9	10	31	48	51	64
6	77	85	90	54	36	23	5	9	34	46	57	76
7	63	55	67	52	39	17	6	6	28	44	53	53
8	79	77	81	59	44	19	4	7	30	54	62	78
9	68	80	107	66	49	27	4	11	37	65	62	91
10	74	82	114	63	45	25	6	9	38	59	65	99
11	73	71	103	56	47	20	3	9	41	57	66	97
12	81	84	88	60	47	19	5	4	33	55	65	77
13	84	80	81	59	51	23	6	6	31	53	65	79
14	85	96	91	67	57	24	5	7	39	67	83	91
15	71	70	75	52	41	15	4	3	27	51	62	71
16	79	85	84	61	52	26	6	4	34	57	73	80
17	78	78	82	53	41	19	5	3	37	58	71	80
18	91	80	88	57	44	19	3	3	34	65	74	82
19	71	69	84	51	40	16	4	4	28	50	64	70
20	81	87	96	64	49	31	4	4	32	72	95	97
21	94	110	123	72	57	24	3	7	38	79	110	96
22	85	82	91	91	40	16	2	6	31	68	79	83
23	92	98	105	54	41	16	1	7	35	69	97	94
24	76	68	73	52	33	23	2	4	30	54	73	76

TABLA I (Continuación)

Precipitaciones Mensuales. Período 1941-70

ESTACION	E.	F.	M.	A.	M.	J.	J.	A.	S.	O.	N.	D.
25	91	70	86	52	30	12	1	4	28	67	77	81
26	73	70	82	55	38	18	2	4	21	63	80	79
27	84	79	88	54	36	13	1	3	25	69	85	76
28	76	71	77	50	31	14	1	4	21	56	79	74
29	83	80	83	52	34	14	1	4	25	61	84	81
30	82	66	87	52	32	14	3	5	25	52	78	82
31	85	73	90	57	36	14	3	5	27	62	89	83
32	103	104	109	66	37	20	0	5	27	73	105	107
33	90	78	83	50	32	15	0	3	24	72	94	98
34	100	81	90	54	30	14	1	3	25	69	99	103
35	85	83	87	55	35	14	1	4	26	64	92	101
36	84	74	81	49	30	12	1	2	26	65	90	93
37	83	60	76	48	28	10	1	3	18	63	70	83
38	81	63	71	43	29	9	1	6	21	65	71	78
39	79	64	75	43	32	15	3	7	24	66	81	82
40	78	69	80	45	35	14	2	5	21	57	79	79
41	70	64	75	29	36	15	3	6	25	59	82	82
42	113	98	104	68	45	16	1	3	27	80	112	116
43	96	78	85	44	37	14	1	5	28	64	91	95

definimos cada estación por las coordenadas según estos ejes, tendremos la Tabla I reducida a otra de 43×4 .

Comprobada la bondad del método para reducir el volumen inicial de datos, pasamos a estudiar el significado climático de los ejes así obtenidos.

Para su interpretación utilizamos las coordenadas covariantes. En la Tabla III se dan las correspondientes a los cuatro primeros ejes; se incluye también sus cuadrados ya que por (1.5) y (1.2), estos cuadrados permiten cuantificar individualmente las proyecciones de los ejes primitivos en los nuevos.

Para el primer eje, la proyección de las temperaturas máximas de todos los meses, excepto junio, julio y agosto, supera el 75%. Entre el 50 y 75% están las mínimas de octubre-diciembre, enero-abril, y las lluvias de julio-agosto. En consecuencia tenemos sobre este eje un factor climático de tipo térmico, caracterizado por las temperaturas máximas, las mínimas de los meses menos calurosos, y las precipitaciones de julio y agosto, que por ser de origen tormentoso, van ligadas a este factor térmico.

Sobre el eje II se proyecta de media el 82% de las temperaturas mínimas de los meses de mayo-setiembre. Este factor es también de tipo térmico, pero ortogonal al primero.

Sobre estos dos factores se proyecta conjuntamente el 86,3% de las mínimas, el 80,8% de las máximas y solo el 31,3% de las precipitaciones, lo que demuestra el significado térmico de ambos.

Sobre el eje III se proyectan las lluvias de todo el año excepto julio y agosto; los meses de junio y setiembre se reparten por igual entre los ejes I y III debido a que las lluvias de estos meses son, en buena parte, de origen tormentoso.

Sobre el eje IV las proyecciones son residuales.

En resumen: el estudio del significado de los vectores propios nos permite identificar cada estación termo-pluviométrica por tres factores ortogonales: dos de tipo térmico y otro pluviométrico. Las coordenadas correspondientes a cada factor pueden ser tomadas como los índices climáticos que definen a cada estación.

Aplicación de las nuevas coordenadas. Análisis comparado de climas.

Representando gráficamente los tres índices (coordenadas) se obtiene la Fig. 1.

Estas coordenadas se han calculado a partir de (1.3) utilizando los datos de la Tabla I tipificados. Por lo tanto el signo positivo o negativo de la coordenada indica si los correspondientes valores superan o no la media.

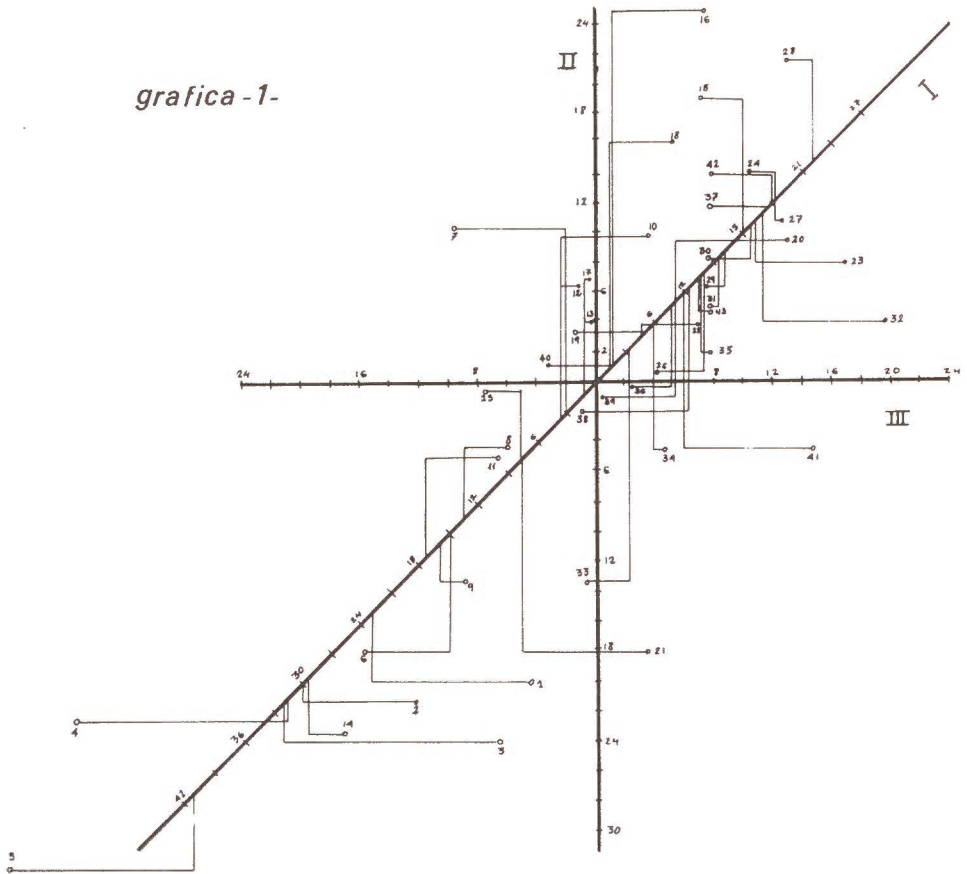
En esta gráfica 1 puede observarse que la mayoría de las estaciones de la cuenca alta, se sitúan en el semieje negativo I, mientras la distribución de las estaciones según los ejes II y III, parece más acorde a aspectos locales.

TABLA II

Coordenadas Covariantes de los 4 primeros vectores propios.
Entre paréntesis los cuadrados en %.

	EJE I	EJE II	EJE III	EJE IV	
t. máx.	E.	0,86 (74,0)	0,28 (7,8)	0,09 (0,8)	-0,29 (8,4)
	F.	0,83 (68,9)	0,38 (14,4)	0,15 (2,3)	-0,31 (9,6)
	M.	0,71 (50,4)	0,42 (17,6)	0,17 (2,9)	-0,22 (4,8)
	A.	0,79 (62,4)	0,53 (28,1)	0,19 (3,6)	-0,19 (3,6)
	M.	0,53 (28,1)	0,80 (64,1)	0,25 (6,3)	-0,02 (0,0)
	J.	0,27 (7,3)	0,91 (82,8)	0,23 (5,3)	0,11 (1,2)
	J.	-0,01 (0,0)	0,93 (86,5)	0,21 (4,4)	0,20 (4,0)
	A.	-0,01 (0,0)	0,95 (90,2)	0,23 (5,3)	0,14 (2,0)
	S.	0,30 (9,0)	0,90 (81,0)	0,25 (6,3)	0,04 (0,0)
	O.	0,71 (50,4)	0,65 (42,3)	0,18 (3,2)	-0,19 (3,6)
	N.	0,78 (60,8)	0,52 (27,1)	0,12 (1,5)	-0,28 (7,8)
	D.	0,83 (68,9)	0,37 (13,7)	0,13 (1,7)	-0,33 (10,9)
t. mín.	E.	0,86 (74,0)	-0,44 (19,4)	-0,01 (0,0)	-0,04 (0,0)
	F.	0,88 (77,4)	-0,43 (18,5)	0,00 (0,0)	0,01 (0,0)
	M.	0,90 (81,0)	-0,33 (10,9)	-0,01 (0,0)	0,18 (3,2)
	A.	0,91 (82,8)	-0,32 (10,2)	0,01 (0,0)	0,22 (4,8)
	M.	0,86 (74,0)	-0,18 (3,2)	0,08 (0,6)	0,45 (20,3)
	J.	0,69 (47,6)	-0,00 (0,0)	0,11 (0,2)	0,69 (47,6)
	J.	0,65 (42,2)	0,04 (0,0)	0,11 (1,2)	0,70 (49,0)
	A.	0,75 (56,3)	-0,01 (0,0)	0,10 (1,0)	0,61 (37,2)
	S.	0,87 (75,7)	-0,16 (2,6)	0,05 (0,2)	0,42 (17,6)
	O.	0,91 (82,8)	-0,36 (13,0)	0,02 (0,0)	0,13 (1,7)
	N.	0,89 (79,2)	-0,42 (17,6)	0,03 (0,0)	0,00 (0,0)
	D.	0,87 (75,7)	-0,44 (19,4)	0,03 (0,0)	-0,06 (0,4)
Precip.	E.	0,07 (0,5)	-0,36 (13,0)	0,78 (60,9)	-0,31 (9,6)
	F.	-0,21 (4,4)	-0,24 (5,8)	0,89 (79,2)	0,01 (0,0)
	M.	-0,17 (2,9)	-0,24 (5,8)	0,81 (65,6)	0,08 (0,6)
	A.	-0,40 (16,0)	-0,04 (0,0)	0,74 (54,8)	0,18 (3,2)
	M.	-0,60 (36,0)	0,13 (1,7)	0,68 (46,2)	0,21 (4,4)
	J.	-0,59 (34,8)	0,15 (2,3)	0,56 (31,4)	0,35 (12,3)
	J.	-0,76 (57,8)	0,37 (13,7)	-0,08 (0,6)	0,30 (9,0)
	A.	-0,72 (51,8)	-0,14 (2,0)	0,06 (0,4)	0,28 (7,8)
	S.	-0,68 (46,2)	0,15 (2,3)	0,60 (36,0)	0,19 (3,6)
	O.	0,10 (1,0)	-0,45 (20,3)	0,76 (57,8)	-0,24 (5,8)
	N.	0,40 (16,0)	-0,50 (25,0)	0,63 (39,7)	-0,29 (8,4)
	D.	-0,07 (0,5)	-0,41 (16,8)	0,82 (67,2)	-0,20 (4,0)

grafica -1-



Esta representación permite visualizar las diferencias y similitudes entre todas las estaciones y por lo tanto analizar y comparar el clima de la cuenca fácilmente. Así, la comparación entre estaciones próximas geográficamente es inmediata. Por ejemplo Sevilla-Universidad (28) y Sevilla-Tablada (29). El efecto urbano de la primera se manifiesta en las mínimas de los meses más calurosos (coordenada eje II); ambas tienen la coordenada III negativa, que las diferencia de Gelves (32), próxima geográficamente.

Utrera-Exclusa (38) y las Cabezas-Exclusa (39) tienen climatologías muy análogas, observándose las diferencias con Utrera-Ciudad.

Jodar (7) y Beas de Segura (10) difieren sólo en el régimen de lluvias pero son análogos térmicamente a pesar de su distanciamiento geográfico. Entre el Centenillo (14) y Cazorra (2) las diferencias climáticas son aún menores.

Estos ejemplos permiten comprobar que el modelo vectorial utilizado es un procedimiento muy eficaz para análisis comparados de climas.

Si se utiliza el método de bases dirigidas se pueden obtener índices

climáticos ligados a aquellos aspectos que interesa resaltar. La posibilidad de obtener varios índices ortogonales a la vez, amplía y mejora las opciones para establecer clasificaciones climáticas.

Cuantificación de la influencia del mar en las temperaturas

Por ser el eje I el de mayor peso (44%), será utilizado para relacionar los principales factores geográficos que afectan al clima con el índice térmico que este eje representa.

Entre los factores geográficos tomamos dos, representados por la distancia al mar y la altitud.

En primer lugar, se ha hecho un análisis del coeficiente de correlación entre la coordenada de cada estación según este eje y ambos factores geográficos, agrupando las estaciones de distintas formas, de tal manera que nos permita poner de manifiesto esta influencia. Así el coeficiente de correlación con la distancia al mar es de 0,98 para estaciones próximas al río, y de 0,90 cuando se toman todas. Gráficamente se observa que la variación entre coordenada y distancia es de tipo parabólico, con eje y vértice desplazados.

Tomando la altura sobre el nivel del mar como factor geográfico y calculado el coeficiente de correlación con la coordenada primera se obtiene -0,91 para el total de estaciones. Gráficamente se comprueba que la variación entre ambas es lineal y que para estaciones de altitud inferior a 100 m. esta tendencia es menos marcada. El coeficiente de correlación para estas estaciones es -0,77 mientras que para estaciones con altitudes superiores a 100 m es de -0,92.

Si se consideran únicamente las estaciones próximas al río la correlación con la altura es de -0,93.

El coeficiente de correlación múltiple entre la coordenada primera, la distancia al mar y la altitud se ha hecho, de acuerdo con los datos anteriores, separando las estaciones por alturas inferiores o superiores a los 100 m. Se ha obtenido un coeficiente de correlación de 0,58 para el primer caso y de 0,83 para el segundo.

Estos resultados nos han inducido a efectuar el estudio de ambos factores independientemente.

Tomemos en primer lugar las estaciones próximas al río y la distancia al mar como factor geográfico a relacionar con el índice térmico definido por el eje I. Según lo expuesto anteriormente se ajustan ambas serie de datos a una parábola mediante la ecuación:

$$D = a + b.I + c.I^2 \quad (4.1)$$

siendo D: distancia al mar en km.

I: coordenada primera

Utilizando el métodos de mínimos cuadrados se obtiene los siguientes valores:

$$a = 276,1; b = -8,85 \text{ y } c = -0,14$$

Agrupando adecuadamente estos coeficientes la ecuación (4.1) se puede escribir así:

$$D = 415,4 - 0,14 (31,5 + I)^2 \quad (4.2)$$

De esta ecuación se deduce que el eje principal se ha desplazado a $I = -31,5$ y el vértice a $D = 415,4$

En la gráfica 2 se ha representado esta ecuación junto a los puntos de las estaciones utilizadas en el ajuste. Obsérvese que para estaciones próximas al mar pueden situarse los puntos sobre una recta. En la gráfica se ha dibujado dicha recta indicando los valores numéricos que la definen.

Estos resultados demuestran que la influencia del mar sobre el factor climático I es lineal, para estaciones próximas al mismo y varía con la raíz cuadrada para las restantes.

Efectuados estos cálculos para las 43 estaciones utilizadas en el estudio, se observa que en algunas de ellas se encuentran diferencias significativas entre los valores estimados por (4.2) y los valores experimentales.

Tomando la ecuación (4.2) y la coordenada I , hemos estimado la distancia al mar. La diferencia entre el valor estimado y el real no da una correlación significativa con la altitud. Sí lo es, sin embargo cuando se utiliza el cociente altitud/distancia.

Al representar gráficamente las diferencias entre valores estimados y reales de distancia al mar con el gradiente de altitud, se observa, que separando las estaciones según que su altitud sea superior o inferior a 20 m., para el primer grupo la variación con el gradiente es lineal, mientras que para el segundo es exponencial.

Realizado el ajuste por mínimos cuadrados se obtienen las siguientes expresiones:

$$\Delta D = 166,1 - 81,33 \cdot H/D \quad \text{para } H > 20 \text{ m.} \quad (4.3)$$

$$\Delta D = -153,5 - 70,73 \cdot L(H/D) \quad \text{para } H < 20 \text{ m.} \quad (4.4)$$

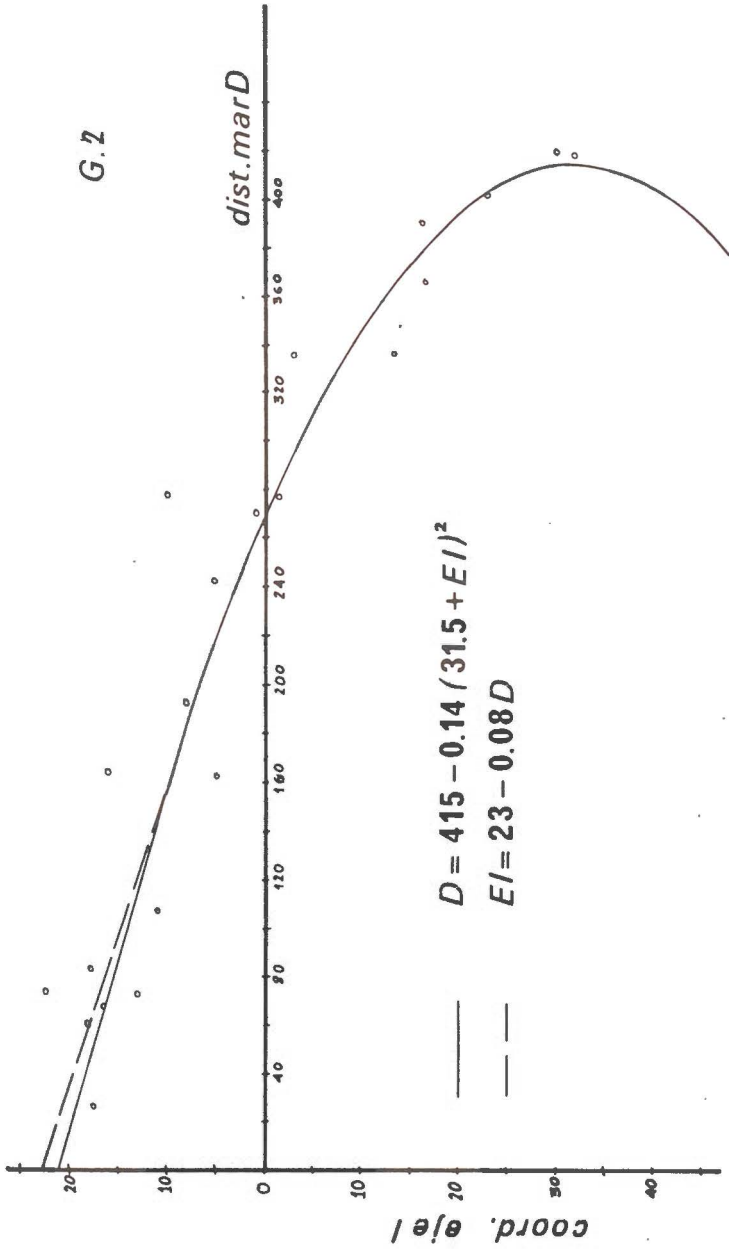
siendo ΔD la diferencia entre la distancia estimada por la ecuación (4.2) y la real.

H la altura en metros
 D la distancia real en km.

Estas ecuaciones se pueden escribir también así:

$$\begin{aligned} \Delta D &= 81,33 (2,04 - H/D) \quad \text{para } H > 20 \text{ m.} \quad (4.3) \\ \Delta D &= -70,73 (2,17 + L(H/D)) \quad \text{para } H < 20 \text{ m.} \quad (4.4) \end{aligned}$$

que ponen de manifiesto la existencia de unos cocientes que denominamos "críticos" ya que indican el valor del gradiente de elevación para el cual el índice térmico es función solo de la distancia al mar.



Según (4.3) y (4.4) estos cocientes críticos son: 2,04 para estaciones de altura superior a 20 metros y 0,17 para las de altura inferior a esa cota.

Valores del gradiente superiores a esos, producen un índice térmico igual al que se obtendría alejándose Δd km. del mar. Gradientes inferiores a los críticos producen temperaturas o índices térmicos análogos a los de estaciones más próximas al mar.

Destaquemos las diferencias tan notables entre los dos cocientes críticos obtenidos. Para zonas muy llanas y próximas al mar (altitud menor de 20 m.), variaciones pequeñas del relieve se traducen en diferencias apreciables del índice térmico. Por el contrario cuando el relieve no es tan llano son necesarias variaciones mayores del gradiente para que se traduzcan en cambios apreciables en el clima.

Estos coeficientes son indicativos de la existencia de una variación gradual del relieve con la distancia al mar y de una orografía típica de valle.

Efecto valle y zonas protegidas

La coordenada segunda está ligada a las temperaturas mínimas de los meses más calurosos. En la gráfica 1 se observa que las estaciones situadas en montaña y próximas a pantanos son las que tienen valores más negativos.

No se han encontrado correlación significativa entre la coordenada II y la distancia al mar o la altitud, resultado que concuerda con la definición del producto escalar y la ortogonalidad de los vectores propios. Los factores que afectan a esta coordenada deben ser locales.

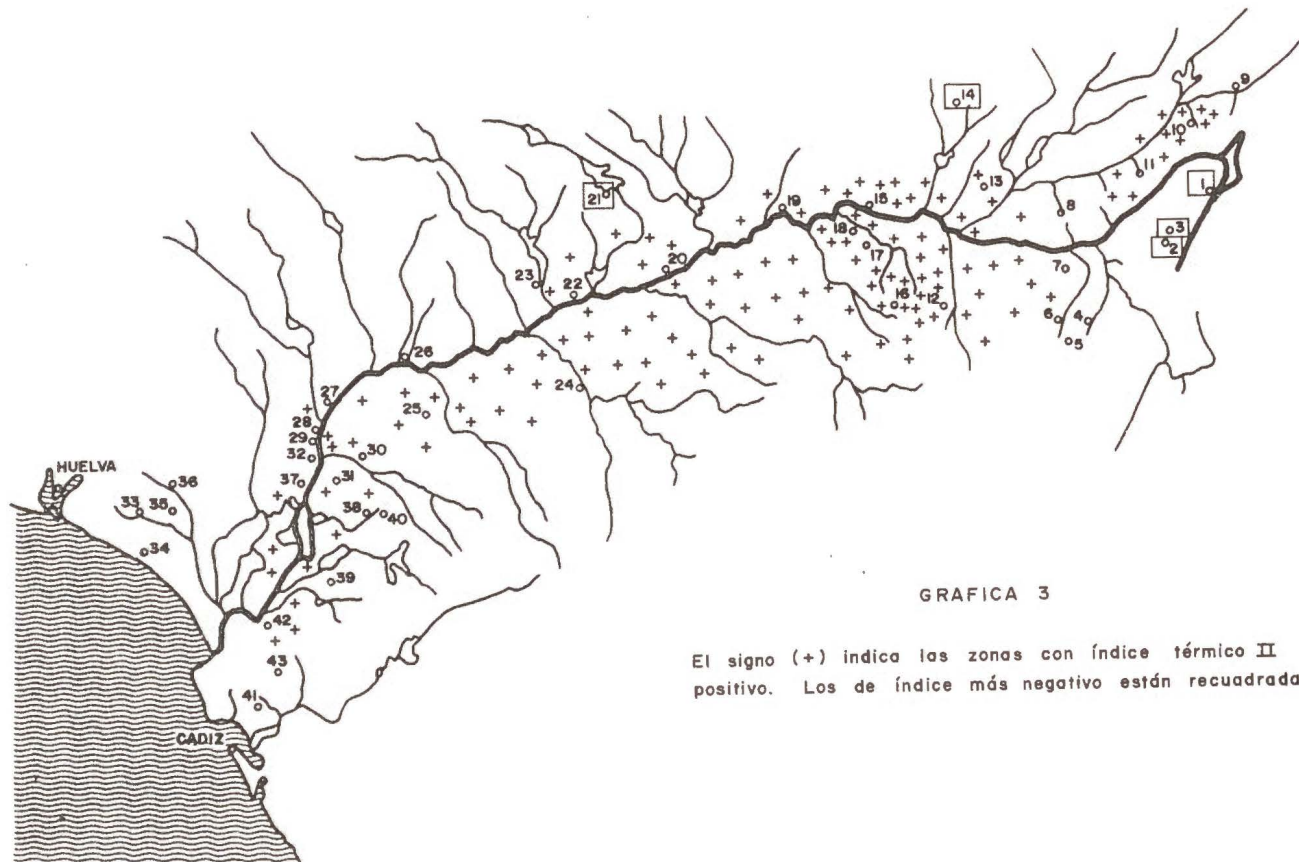
Para poner de manifiesto con más claridad este factor térmico del clima vamos a utilizar el método de Smidt en lugar del de vectores propios.

Tomamos como representativo de este factor la mínima del mes de julio, (variable 7) y hacemos coincidir el primer eje con este variable. De las coordenadas covariantes obtenidas por este procedimiento y de las obtenidas por vectores propios se pueden deducir algunas diferencias entre los resultados proporcionados por ambos procedimientos.

Así el peso de este vector, calculado por (1.6), es del 20,5%, ligeramente inferior al 21,7% obtenido por el método de vectores propios. Sin embargo, y para el conjunto de meses de mayo-septiembre, se obtienen ahora el 86%, que supera al 80,9% obtenido anteriormente; las proyecciones de las variables que no son características de este factor son por el contrario mucho más bajas con éste método. Esto significa, que con el método de Smidt la factorización se centra en las variables que interesan.

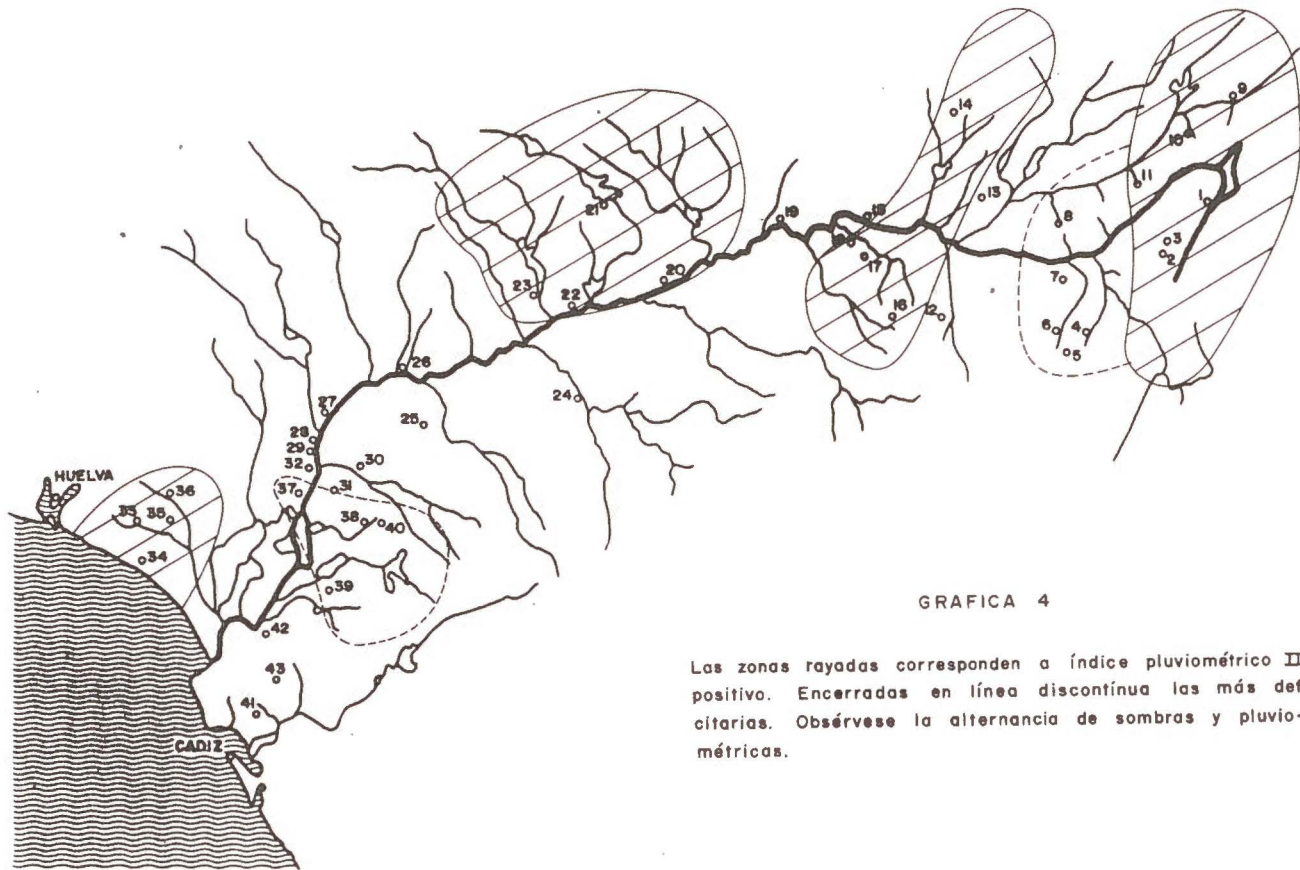
Las coordenadas según este nuevo eje se calculan con datos tipificados y se comprueba que los valores extremos son más acusados ahora.

En la gráfica 3 se ha representado sobre el plano del río y mediante el signo más las estaciones cuyas coordenadas son positivas (la concentración del signo es proporcional al valor). Se puede comprobar que la



GRAFICA 3

El signo (+) indica las zonas con índice térmico II positivo. Los de índice más negativo están recuadradas.



GRAFICA 4

Las zonas rayadas corresponden a índice pluviométrico III positivo. Encerradas en línea discontinua las más deficitarias. Obsérvese la alternancia de sombras y pluviométricas.

zona al sur del cauce es positiva. Torredonjimeno situada a una altitud de 584 m. entre dos valles y protegida al Sur por elevaciones superiores a los 1000 m. es la de valores más altos. El efecto Valle-Montaña (efecto Föen) puede ser el causante de estas mínimas tan altas.

En las estaciones de Ubeda y Villacarrillo, la situación es análoga con efectos menos pronunciados.

En las zonas próximas al mar la coordenada es negativa, significándose más en esta zona, las estaciones de las Marismas. El efecto urbano de Sevilla-Ciudad es muy notorio.

Las estaciones situadas en montaña y próximas a los pantanos o embalses son las de coordenadas más negativas.

Precipitaciones: sombras pluviométricas

Verificado que el método de Smidt permite centrar mejor los factores sobre las variables deseadas, hemos utilizado también este método para el estudio de las lluvias. Tomamos ahora las precipitaciones de marzo para calcular el segundo vector. Los datos de las coordenadas covariantes y del peso de éste vector, confirman las conclusiones hechas para el anterior.

En la gráfica 4 se han señalado en zona rayada las estaciones por las cuales la coordenada según éste eje es positiva. Mediante una línea de puntos se indican las de valores más negativos. Puede comprobarse que junto al mar hay una zona que coincide con las estaciones de las Marismas en las que la precipitación supera la media de la cuenca y otra en la margen opuesta que es más deficitaria (en el curso bajo la zona registra lluvias en cantidad ligeramente inferior a la media).

La primera zona rayada aparece definida por Córdoba, Pantano Nuevo, Posadas y Hornachuelos. Esta zona coincide con la aproximación del río a la Sierra por el Norte. La variación de temperaturas que implica el cambio de orografía es el origen de la lluvia más abundante.

Como consecuencia del "exceso" de agua caída en esta zona, aparece otra deficitaria (respecto a la media).

Cuando el río se adentra en la Sierra, aparece otra zona de coordenadas positivas a la que sucede otra de negativas, para llegar al nacimiento que es más lluviosa de toda la cuenca.

RESUMEN

Se ha hecho el estudio climatológico de la cuenca del Guadalquivir utilizando 43 estaciones y datos de temperaturas y precipitaciones del período 41-70, usando el análisis de componentes generalizado. (A. C. G.).

De acuerdo con los resultados del A. C. G. el clima de la zona se caracteriza por tres índices: dos térmicos y otro pluviométrico.

El primer índice térmico —el de mayor peso estadístico— varía con la distancia al mar según la ecuación:

$$D = 415,4 - 0,14 (31,5 + I)^2$$

El gradiente de altura modifica la distancia al mar en una cantidad ΔD dada por las siguientes relaciones:

$$\Delta D = 81,3 (2,04 - H/D) \text{ para } H > 20 \text{ m.}$$

$$\text{y } \Delta D = -70,7 (2,2 + L(H/D)) \text{ para } H < 20 \text{ m.}$$

Ambas ecuaciones permiten deducir unos gradientes "críticos" y una orografía típica para una distribución precisa de climas en la cuenca.

Los otros índices permiten poner de manifiesto aspectos locales que definen las temperaturas mínimas (efecto Föen, urbano, ...) y las zonas de sombras pluviométricas.

Representados gráficamente los tres índices, se pueden apreciar las diferencias y afinidades de los climas de las distintas estaciones.

BIBLIOGRAFIA

1. I. FONT: Atlas climático de España. I. N. M. —Madrid— 1983
2. I. FONT: Climatología de España y Portugal. I. N. M. —Madrid— 1983
3. R. ARLERY, H. GRISOLLET, B. GUILMET: Climatologie. Méthodes et pratiques.
4. F. GONZALEZ, R. ROMAN, M. C. SEMPERE. "Analyse factorielle des données climatologiques". La Météorologie. II-3; 251-269: 1968.
5. Mapas Provinciales y hojas escala 1/25.000. INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL.
6. M. C. NAVARRO: Estudio climatológico del Valle del Guadalquivir por el método de análisis de componentes principales. Tesina F. Físicas de la U. C. Madrid 1982.
7. R. ROMAN, M. C. NAVARRO: Aplicación de los espacios euclídeos al tratamiento de información. Meet. Int. on linear algebra and its applic. —Vitoria— 1983
8. R. ROMAN, M. C. NAVARRO: Some space euclidean properties in applied statistics. Meet. Int. on linear algebra and its appl. 368-386. —Coimbra— 1984.
9. C. ALMARZA: Fichas hídricas normalizadas y otros parámetros hidrometeorológicos. I. N. M. —Madrid— 1984

Recibido para publicación: 22-VII-85.

ALFISOLES DE LOS MONTES DE TOLEDO
III. PERFIL ULTIC PALEXERALF. ESTUDIO MINERALOGICO
DE LA FRACCION ARCILLA POR DIFRACCION DE
RAYOS X Y ESPECTROSCOPIA INFRARROJA

Por

P. RECIO y M. T. GARCIA-GONZALEZ

SUMMARY

ALFISOLS FROM MONTES DE TOLEDO (SPAIN) III. PROFILE ULTIC PALEXERALF. MINERALOGICAL STUDY OF THE CLAY FRACTION BY X-RAY DIFFRACTION AND IR SPECTROSCOPY.

An interstratified mica-smectite mineral has been identified in a medium presenting hydromorphic characteristics and acid pH. The studied material corresponds to the clay fraction of a Ultic Palexeralf profile from the Montes de Toledo (Spain). The main component of the profile is dioctahedral mica, whose alteration originates a certain beidellitic character in the smectite layers of the interstratified mineral.

Kaolinite has also been detected, its contents being constant through the different horizons of the profile. The main crystalline iron compound is goethite.

IR spectroscopy seems to confirm the presence of silica gels in the deeper horizons of the profile.

INTRODUCCION

Siguiendo con el estudio de los Alfisoles de los Montes de Toledo (Recio et al., 1985 a y b), se estudia en este trabajo la composición mineralógica de la fracción arcilla de un perfil que se encuentra situado en el Km 7.800 de la carretera que une Arisgotas con Marjaliza. Su material originario son pizarras y areniscas que aparecen muy alteradas. Atendiendo a las características químicas y texturales, así como a la mineralogía de la fracción arcilla se clasificó como Ultic Palexeralf.

El perfil está compuesto de los horizontes A1 (0-12 cm), A2 (12-29 cm), A3 (29-37 cm), Bt (37-67 cm), Btg1 (67-107 cm), Btg2 (107-137 cm) y Cg (+ 137 cm).

Los métodos y técnicas utilizadas en la parte experimental se encuentran descritos en un trabajo anterior (Recio et al., 1985 a). Por las características de los filosilicatos presentes en este perfil, se ha realizado además el tratamiento con nitrato de litio propuesto por Weir y Greene-Kelly (1962).

RESULTADOS Y DISCUSION

En la Figura 1 se han recogido los difractogramas de agregados orientados de las fracciones $\leq 2 \mu\text{m}$ de la zona arenisca y pizarra del horizonte Cg, mientras que los obtenidos con la arcilla de los restantes horizontes del perfil se han incluido en la Figura 2 (polvo desorientado) y Figuras 3 a 6 (agregados orientados sometidos a distintos tratamientos).

En todos los horizontes se observa la preponderancia de los filosilicatos frente a los silicatos primarios, como cuarzo o feldespato, cuya presencia unicamente es significativa en la fracción arcilla de los horizontes A1, A2 y A3. El aumento de los minerales laminares en los horizontes B y C del perfil, es seguido de la concentración de compuestos de hierro que la difracción de rayos X ha identificado como goetita (efectos a 4,18 y 2,69 Å). La proporción de este oxihidróxido de hierro muy abundante en Bt, decrece en Btg2 y es más baja en el material de origen pizarroso del horizonte Cg que en el que presenta características de arenisca, donde se observa el mayor contenido en goetita del perfil.

Se han identificado en todo el perfil, filosilicatos de tipo 1:1 cuyas reflexiones basales a 7,1, 3,57 y 2,37 Å, se refuerzan en los agregados orientados a temperatura ambiente y desaparecen al calentar la arcilla a 500° C. Dado que las restantes técnicas de identificación utilizadas no han detectado la presencia de haloisita, estos efectos han sido asignados a caolinita.

La reflexión 001 de los minerales micáceos, decrece con el aumento de la profundidad. Su disminución es acompañada del incremento de la proporción de un mineral interestratificado, cuya presencia en el horizonte A1 unicamente se pone de manifiesto por la prolongación hacia ángulos bajos del efecto a 10 Å. Al descender en el perfil este hombro aumenta en intensidad, individualizándose en el horizonte Btg2 con la formación de un efecto con máximo a 11.1 Å. El agregado orientado de la arcilla magnésica solvatado con glicerina presenta en este horizonte, el desplazamiento de la reflexión 002 del interestratificado hasta 12.6 Å. El hinchamiento con etilenglicol es menos claro, limitándose al desplazamiento de la banda hacia mayores espaciados, pero sin dar un máximo definido. En este sentido cabe citar el trabajo de Shimoda et al., (1974) que al solvatar con etilenglicol una mica transformada artificialmente en esmectita, comprobaron la ineffectividad del tratamiento no logrando el hinchamiento del material obtenido.

La respuesta del interestratificado al calentamiento, si es consecuentemente con la naturaleza asignada. A tan sólo 110° C, la mayor parte del agua interlaminares de la esmectita saturada con magnesio se ha perdido, intensificándose el máximo de difracción a 10 Å. Cabe destacar que se ha tenido especial cuidado en controlar la rehidratación del agregado calentado a 110° C. Los restantes test realizados (escaso o nulo hinchamiento con etilenglicol del mineral magnésico y contracción a 10 Å del mineral potásico) puede considerarse que responden al comportamiento característico de la vermiculita en suelos. Sin embargo, ya en 1955 Grim y Bradley consideraron que la saturación con potasio

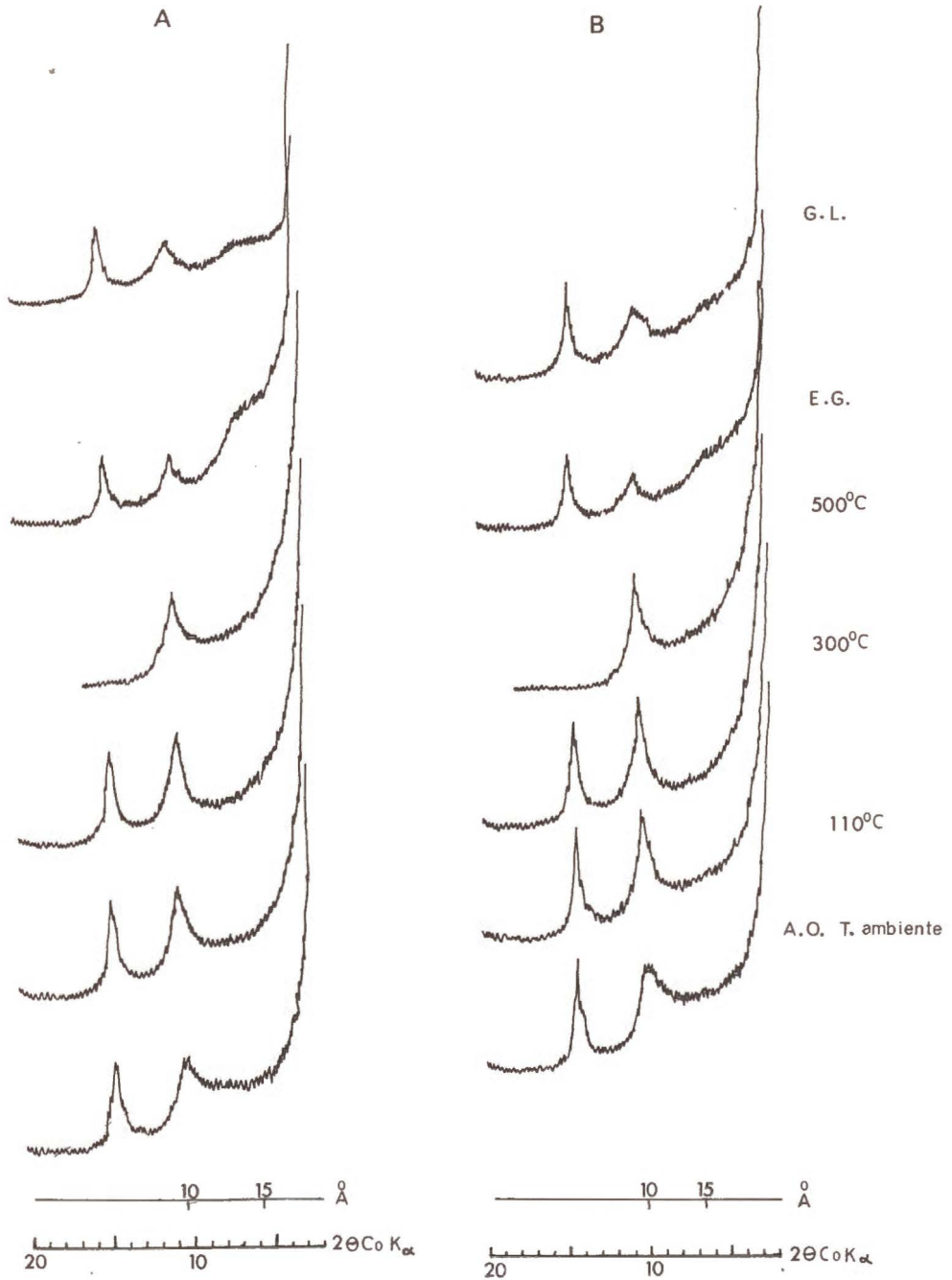


Fig. 1.—Difractogramas de los agregados orientados sometidos a distintos tratamientos. Horizonte Cg (A: zona arenisca; B: zona pizarra).

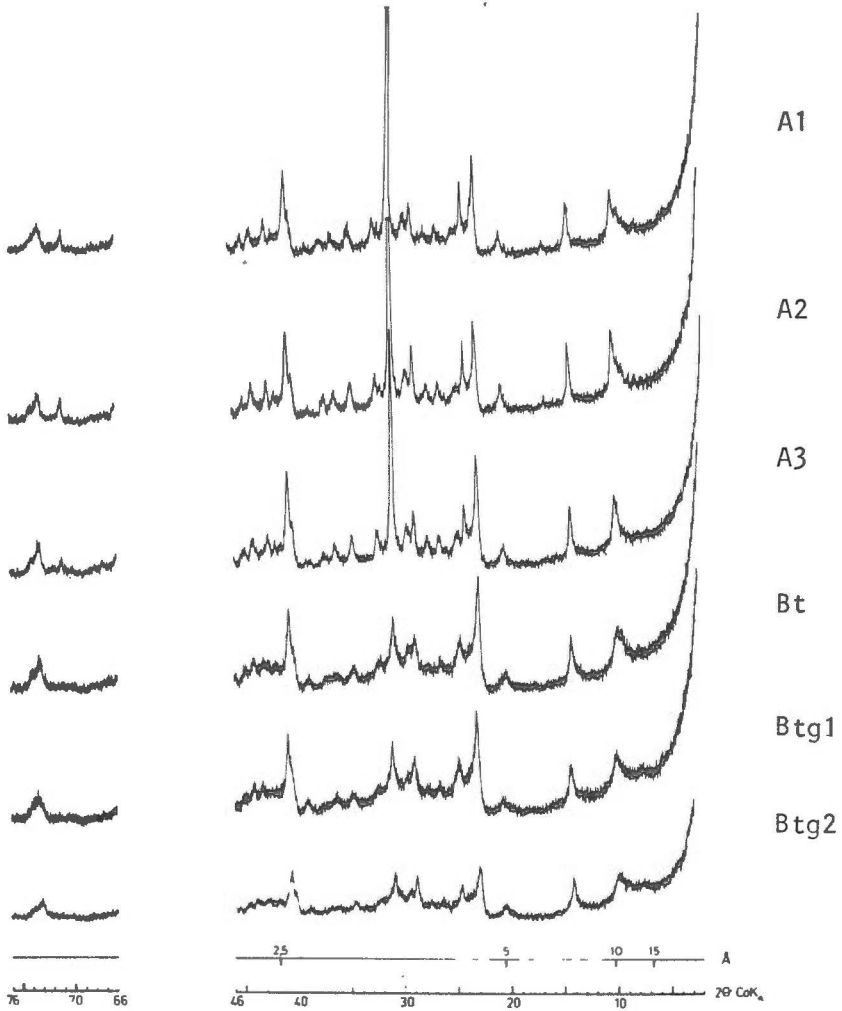


Fig. 2.—Difractogramas de polvo desorientado.

de minerales procedentes de micas, ocasiona el colapsamiento de la estructura, gracias a lo que denominan "memoria estructural". En este mismo sentido se pronuncia Weaver (1958) y es indicativo para Robert y Barshad (1972) y Robert (1975) del origen micáceo del material esmectítico. Sarkisyan y Kotelnikov (1972) afirman que en el proceso de transformación las esmectitas procedentes de micas unicamente han sufrido pequeñas variaciones, consistentes en la pérdida de iones pota-

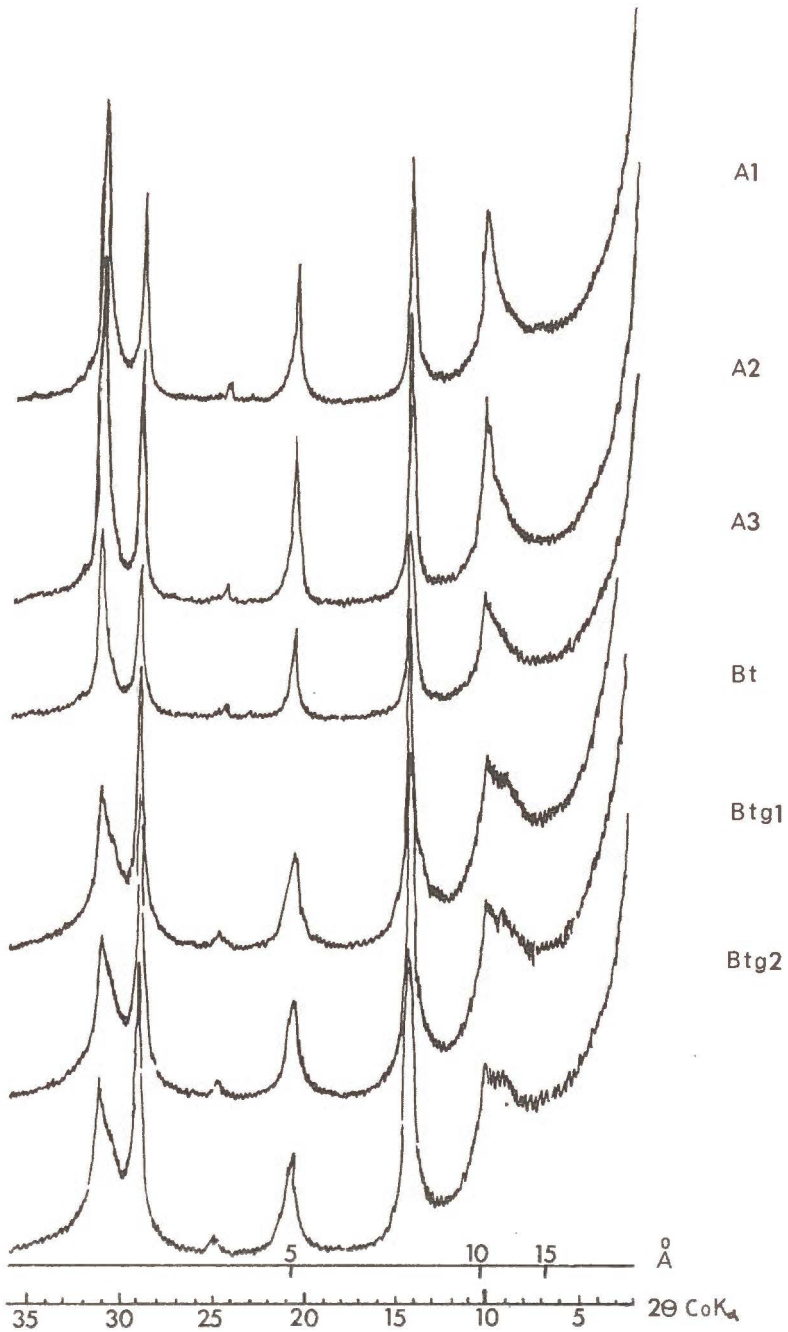


Fig. 3.—Difractogramas de arcilla-Mg. Agregados orientados a temperatura ambiente.

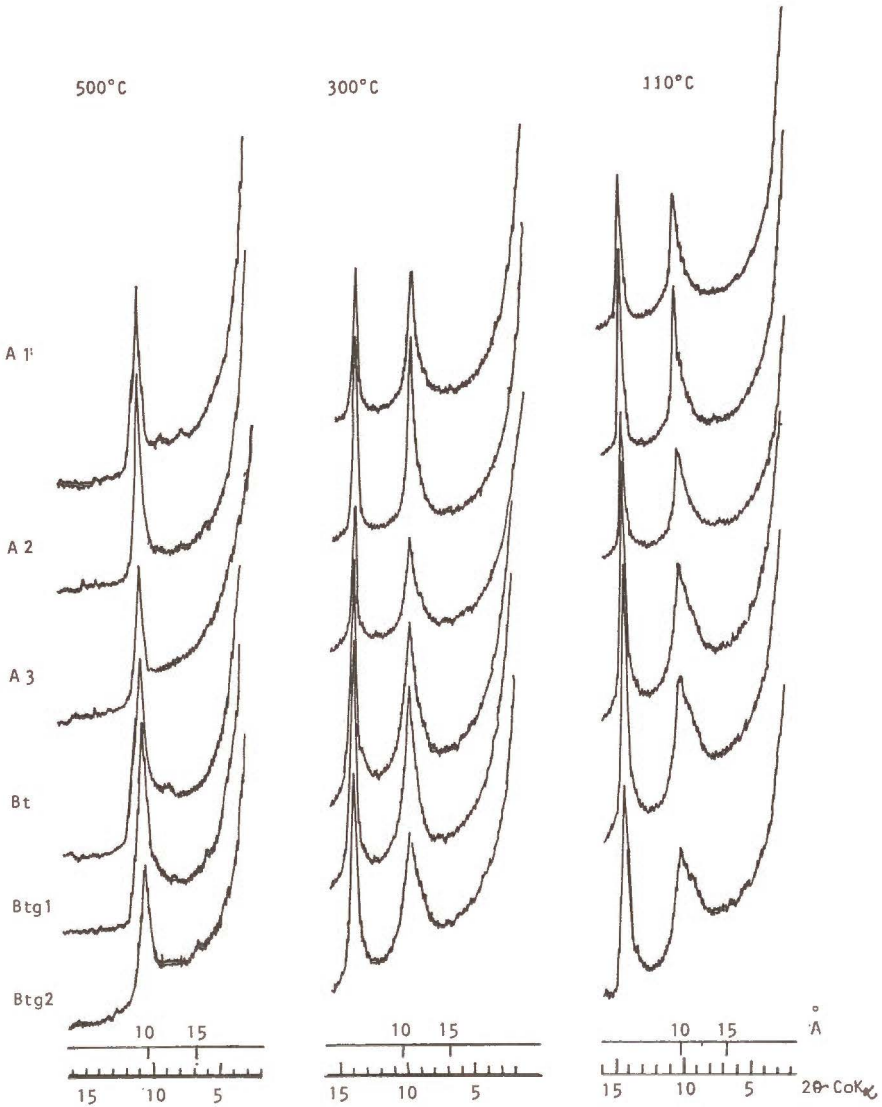


Fig. 4.—Difractogramas de arcilla-Mg. Agregados orientados calentados a 110, 300 y 500° C.

sio que son substituidos en posiciones interlaminares por otros iones de mayor esfera de hidratación (calcio y magnesio principalmente), aunque también tienen lugar substituciones de silicio por aluminio en la capa tetraédrica. Horvarth y Novak (1976), indican que la fijación de potasio está afectada en esmectitas, por tanto ampliable a las láminas de tal naturaleza del interstratificado, por la carga total de la capa así como por el número de substituciones tetraédricas. En 1969, Har-

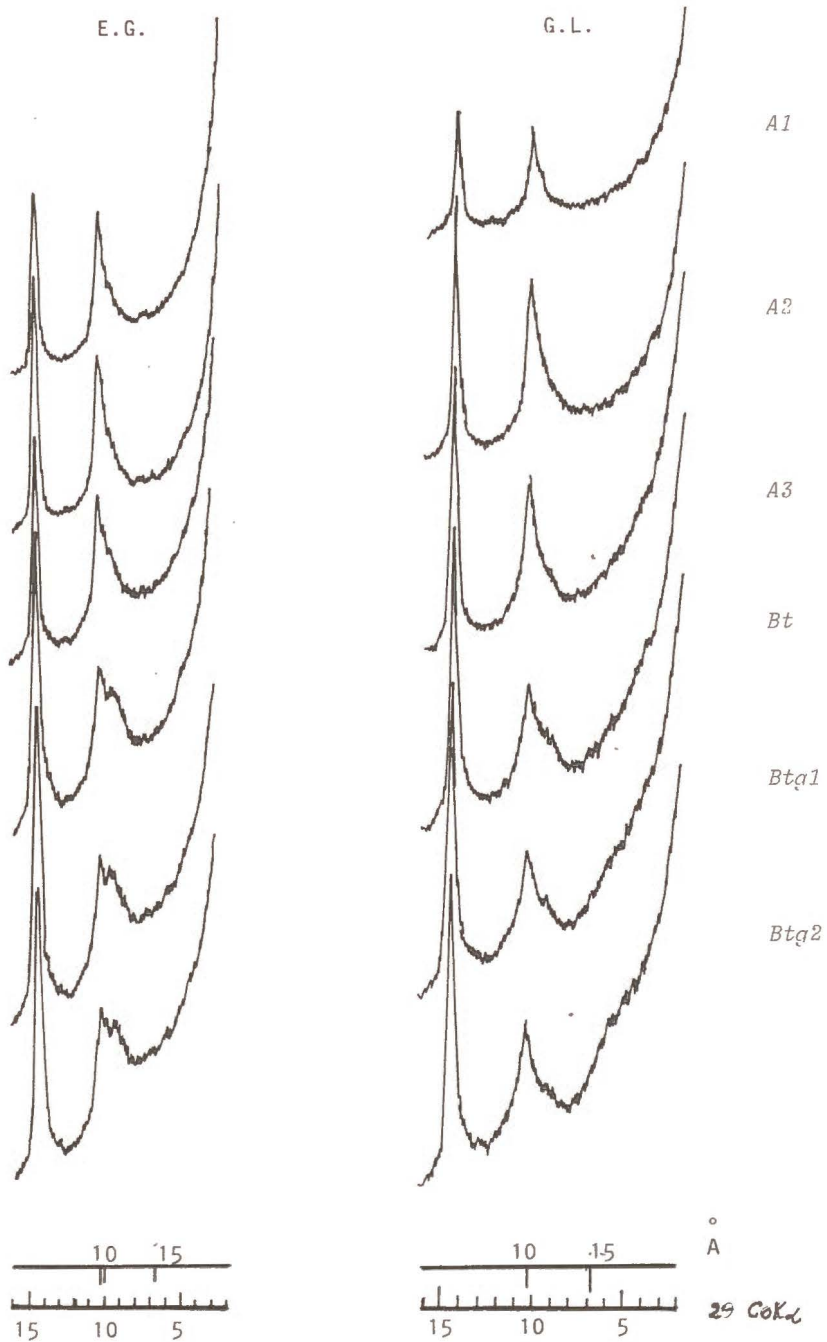


Fig. 5.—Difractogramas de los agregados orientados de la arcilla-Mg solvatada con etilenglicol y glicerina.

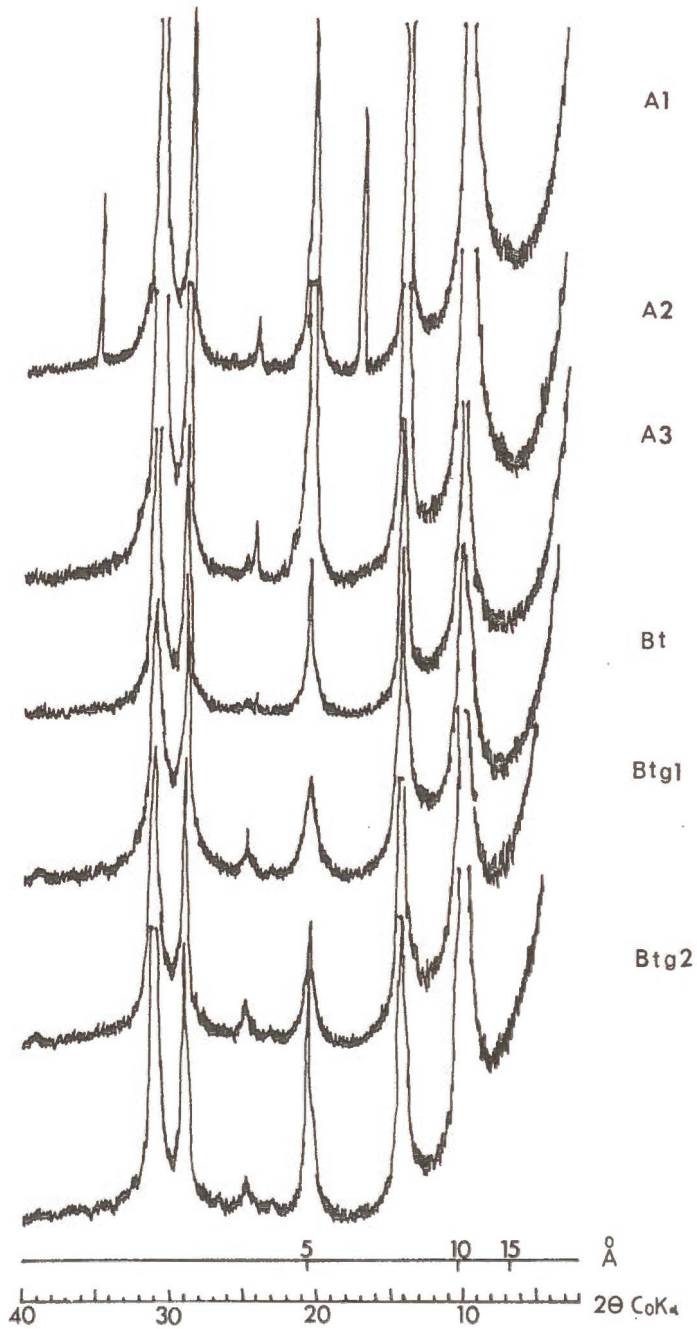


Fig. 6.—Difractogramas de los agregados orientados de la arcilla-K.

ward et al. observan que en condiciones de humedad relativa del 54%, la saturación con potasio determinaba el colapsamiento de las "es-mectitas verdaderas" a 12 Å. Este hecho aún en las condiciones de humedad relativa propuestas, no sería posible de observar en el perfil, ya que el efecto de difracción del interestratificado sería enmascarado por la reflexión de primer orden de la mica. Arifin et al. (1973), consideran que la formación de esmectita a partir de mica, transcurre a través de un intermedio vermiculítico. Sería para estos autores un proceso reversible en el que la adición de iones K^+ al edificio esmectítico, puede colapsar temporalmente la estructura, pero en que el aumento de carga laminar no es suficiente para formar mica verdadera.

Egashire et al. (1982), han identificado como esmectita un mineral que fijaba potasio en cantidad similar a la de vermiculita, pero cuyo comportamiento frente a la glicerina (no realizan el test del etilen-glicol) era propio de esmectitas. Estos autores mediante la aplicación del tratamiento con nitrato de litio (Weir y Greene-Kelly, 1952) al material esmectítico y micáceo de la misma muestra, comprueban que se trata de una esmectita de alta carga, con un abundante número de sustituciones de aluminio por silicio en la capa tetraédrica. Este mineral recuerda en cierto modo a la beidellita, siendo su origen el mineral micáceo, que coexiste con el interestratificado. En el presente trabajo se ha realizado el test de Weir y Greene-Kelly (1952) con la arcilla magnésica del horizonte Btg2, observándose que tras el tratamiento con nitrato de litio, la solvatación con glicerina originaba el desplazamiento del efecto de 11,2 Å hacia angulos menores.

En el perfil, el interestratificado mica-esmectita está mejor formado y es más abundante en profundidad. La alteración de la mica dioctaédrica es también observada en el horizonte Cg, donde los difractogramas del material con estructura de arenisca o pizarra presentan una banda a 10,3 Å que se desplaza gradualmente hacia 10 Å con el calentamiento. Al estudiar la fracción arcilla de diámetro inferior a 1,2 μm , se observa que también la solvatación con polialcoholes, determina la reducción del efecto de 10 Å y la aparición de un hombro entre 3 y 4°. El hecho de que el interestratificado mica-esmectita no origine en el horizonte Cg un máximo individual debe considerarse como debido a que la muestra de ambos tamaños de partícula (2 y 1,2 μm) no ha sido homoionizada con magnesio. Al haberse realizado la extracción utilizando hidróxido amónico como dispersante, se ha trabajado en difracción de rayos X con muestra posiblemente amónica. El espaciado de la reflexión 001 de la esmectita amónica es cercano a 11,7 Å (montmorillonita) y 11,9 Å (beidellita), por lo que la reflexión 002 del interestratificado, es enmascarada por la 001 de la mica. La mayor anchura del efecto 10,3-10,4 Å en la arcilla de tamaño 2 μm , indica sin embargo que la proporción de este mineral es mayor en los tamaños menores de partícula.

Cuantitativamente el número de láminas de esmectita que alternan con las de mica, no deben variar en los distintos horizontes del perfil, ni en función del tamaño de partícula considerado. Sin embargo si

hay diferencia en la abundancia relativa del interestratificado, que tiende a acumularse en los horizontes profundos. De una manera aproximada puede postularse que frente al conjunto de los minerales laminares, la proporción de mica + interestratificado es prácticamente constante. Tomando como base el horizonte Btg2, el hinchamiento con glicerina ($\sim 1,4 \text{ \AA}$) y con etilenglicol ($\sim 1,1 \text{ \AA}$) indica que, aproximadamente el 30% de las láminas del mineral presentan características de esmectita (probablemente de alta carga) similar a la encontrada por Egashire et al. (1982). Más exacto es el método propuesto por Reynolds y Hower (1970), basado en el desplazamiento del espaciado 004 (entre 5 y 5,6 \AA) de la arcilla-Mg tratada con glicerina. La alta proporción de mica, cuya reflexión 002 aparece alrededor de 5 \AA , impide la aplicación de este método al caso concreto del perfil. También el alto contenido en mica dioctaédrica, inhabilita la determinación del número de láminas hinchables según el método propuesto por Srodon (1981). Este autor mide las variaciones de los espaciados de los efectos que con $\text{CuK}\alpha$ aparecerían entre 15 y 16° (5 \AA) y 31 - 32° ($2,8 \text{ \AA}$). La razón láminas hinchables: láminas no hinchables calculada (30%) está de acuerdo con los trabajos de Walker (1958), en los que pone de manifiesto la imposibilidad de observar por difracción de rayos X interestratificados mica-esmectita, en los que este cociente sea inferior al 20%. En el mismo sentido se manifiestan Hower y Mowatt (1966). Finalmente siguiendo el mencionado trabajo de Reynolds y Hower (1970) se tratará probablemente de un interestratificado regular (menos de 35-40% de láminas hinchables).

En lo que se refiere a su origen, tanto el material micáceo como el caolinítico, deben ser preexistentes a la formación del suelo. El interestratificado mica-esmectita procede de la transformación de mica. El que haya sido encontrado en la arcilla de tamaño $\leq 1,2 \mu\text{m}$ parece indicar en una alteración preferencial de láminas, en que mientras algunas se abren totalmente liberando el potasio interlaminares, otras no resultan afectadas (Jackson, 1952). Este parece ser el mecanismo más habitual en partículas de pequeño tamaño y permite explicar la existencia de interestratificados más o menos regulares. Las condiciones actuales en las que se está desarrollando el perfil (pH en agua alrededor de 4,5) no son adecuadas para la formación y conservación de la esmectita. Numerosos autores (Millot, 1970, Buol et al., 1980) la consideran como una especie inestable en medios no básicos. Sin embargo su presencia en suelos ácidos es habitual como lo demuestra su existencia en podzoles. Buol (1980), cree que solo aparece cuando está presente en el material originario, pero Nash (1979) la ha identificado en medios de pH inferior a 4,5 aunque no existía en la roca madre. Debe señalarse también que Vicente et al. (1977) han logrado su síntesis en el laboratorio a pH 3,2 - 3,9.

En los horizontes profundos que presentan características de gley se han determinado bajas proporciones de potasio de cambio y elevadas concentraciones de Mg (con razones molares $\text{Mg}^{+2}/\text{Ca}^{+2}$ superiores a la unidad en Btg1) que crearían, si hay suficiente sílice, un am-

biente confinado propicio para la alteración de mica hacia la formación de esmectita. Por otra parte el hidromorfismo impide la transformación $Fe^{+2} \rightarrow Fe^{+3}$ necesaria para la formación de vermiculita (Douglas, 1977). La recopilación llevada a cabo por Norrish (1972), muestra que la vermiculita o esmectita de origen micáceo tiene, o desarrolla, una carga similar al mineral de partida. En el perfil se trata por tanto de una esmectita de alta carga, lo que le hace comportarse en cierto modo como vermiculita y que presenta características más afines a beidellita que a monmorillonita.

La espectroscopía de absorción infrarroja no suministra información adicional sobre la naturaleza del mineral de espaciado basal 11 Å encontrado en difracción de rayos X. En los interestratificados mica-esmectita, Sudo y Shimoda (1978) han observado que en función de las absorciones de sus espectros, pueden subdividirse en dos grupos:

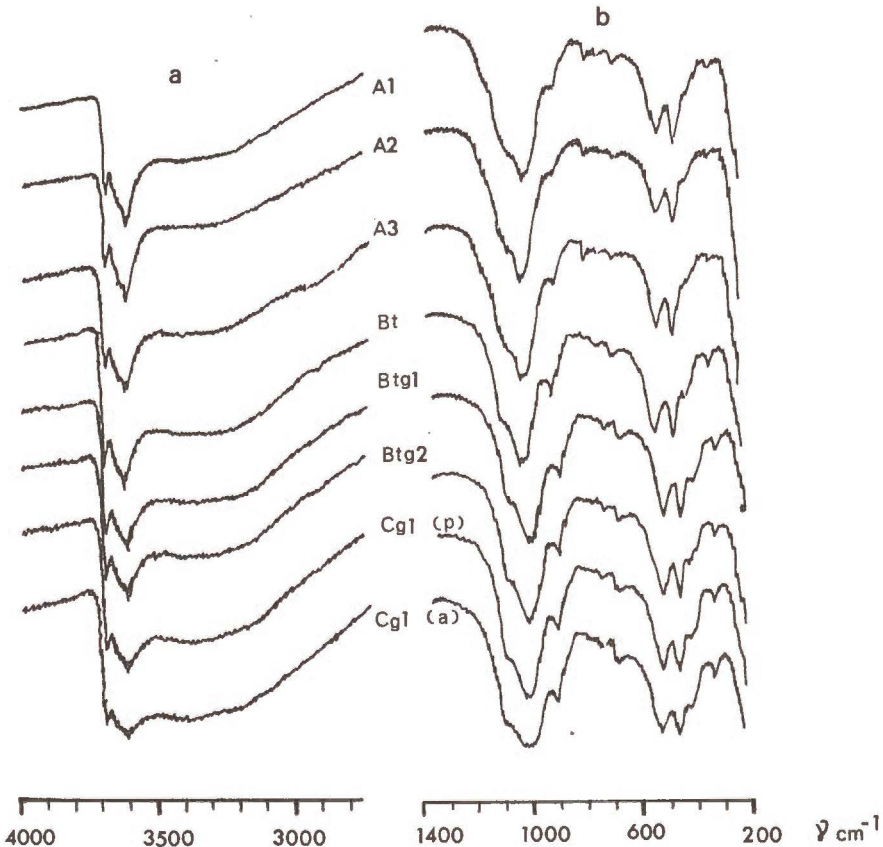


Fig. 7.—Espectros de absorción en el infrarrojo de la fracción arcilla, a, Fluorolube, b, Bromuro potásico. Cg1 (p) y Cg1 (a) corresponden a las zonas pizarra y arenisca del horizonte.

(1) interestratificados de mica y esmectita en que los caracteres son los mismos que en los minerales individuales y (2) minerales estratificados compuestos por mica y láminas hinchables que recuerdan a la hidromica.

En las muestras de arcilla de este perfil, los espectros obtenidos (Fig. 7) incluyen al interestratificado en este último grupo, ya que por su posición y forma, las absorciones (3618, 1030, 915, 535, 476 cm^{-1}) recuerdan los espectros de mica dioctaédrica. Únicamente las vibraciones de tensión de los grupos hidroxilo del agua higroscópica e interlaminar, alrededor de 3400 cm^{-1} (banda muy intensa en esmectitas), permite intuir la existencia de láminas de este mineral hinchable en los horizontes B y C del perfil.

La existencia de caolinita es detectada por la absorción a 3696 cm^{-1} , correspondiente a la vibración de tensión de los hidróxilos situados perpendicularmente a la lámina (Serratos et al., 1962). La intensidad de esta banda frente a la de 3620 cm^{-1} , sugiere que la proporción de caolinita permanece casi constante en los horizontes argílicos del perfil y aumenta en el horizonte Cg.

La frecuencia de las bandas a 915 y 535 cm^{-1} (vibraciones de deformación del grupo Al-OH-Al y Si-O-Al^{IV}, respectivamente), indica que las substituciones de aluminio octaédrico por magnesio en la estructura de los minerales de la arcilla son muy escasas.

En medios ricos en bases como el del perfil, la formación de esmectita a partir de estructuras micáceas, precisa que el lavado de potasio interlaminar sea acompañado por la salida de sílice que pasaría al medio. Hino y Sato (1971), observan que los geles de silicio presentan absorciones a 1094, 800 y 470 cm^{-1} características de silicio tetracoordinado y una banda a 950 cm^{-1} debida a la vibración de tensión Si-O de los grupos SiOH. En el perfil, los espectros de los tres horizontes superiores presentan el doblete 798-778 cm^{-1} característico del cuarzo, que es substituido en profundidad por una banda única a 800 cm^{-1} atribuida a geles de silicio. Las restantes absorciones características de estos compuestos de silicio de baja cristalinidad, son enmascaradas por algunas de los filosilicatos presentes en las muestras.

CONCLUSIONES

El estudio de la fracción arcilla del perfil mediante la aplicación de las técnicas de difracción de rayos X y espectroscopía IR permite llegar a las siguientes conclusiones:

- 1.—El perfil está constituido fundamentalmente por mica dioctaédrica, menores proporciones de caolinita y de un interestratificado mica-esmectita.
- 2.—El aumento con la profundidad de la proporción del interestratificado mica-esmectita va en detrimento del contenido en minerales micáceos, siendo la proporción mica + mica-esmectita prácticamente constante en los distintos horizontes del perfil.

3.—La existencia del interestratificado parece tener su origen en la alteración de los minerales micáceos bajo pH ácido y condiciones hidromórficas. Las láminas de esmectita así formadas, presentan cierto carácter beidellítico y constituyen aproximadamente el 30% de las láminas del interestratificado.

4.—La espectroscopía de absorción IR parece confirmar la presencia de geles de silicio en los horizontes B y C.

5.—Se ha identificado la existencia de cuarzo y feldespato en los tres horizontes superiores. El único compuesto cristalino de hierro encontrado en el perfil, ha sido goetita que es más abundante en la zona con características de arenisca del horizonte Cg.

RESUMEN

El estudio de la fracción arcilla de un perfil Ultic Palexeralf situado en los Montes de Toledo, ha permitido la identificación de un interestratificado mica-esmectita en un medio que presenta características hidromórficas y pH ácido. El componente fundamental del perfil es mica dioctaédrica, cuya alteración da origen a que las láminas de esmectita del interestratificado presenten un cierto carácter beidellítico.

Se ha encontrado también caolinita, cuyo contenido permanece prácticamente constante en los distintos horizontes del perfil siendo goetita el principal compuesto cristalino de hierro identificado.

La espectroscopía de absorción IR parece confirmar la presentación de geles de silicio en profundidad.

BIBLIOGRAFIA

- ARIFIN, H. F., PERKINS, F. and TAN, K. H. 1973. Potassium fixation and reconstitution of micaceous structures in soils. *Soil Sci.* 116, 31-35.
- BAILEY, H. P. 1980. Summary of recommendations of AIPEA, Nomenclature Committee. *Clay Miner.* 15, 85-93.
- BUOL, S. W., HOLE, F. D. and Mac CRAKEN, R. J. 1980. *Soil Genesis and Classification*. The Iowa State Univ. Press Ames.
- DOUGLAS, L. A. 1977. Vermiculites. En: *Minerals in Soil Environments*, J. B. Dixon and S. B. Weed (ed). *Soil Sci. Soc. Am.*, Madison, Wisconsin, 259-292.
- EGASHIRE, R., DIXON, J. B. and HOSSNER, L. R. 1982. High charge smectite from lignite overburden of East Texas. *Proc. Int. Clay Conf. Italy*. H. Van Olphen and F. Veniale (ed), Elsevier Sci. Pu. Co., Amsterdam. 335-346.
- GRIM, R. E., BRADLEY, W. F. 1955. Structural implications in diagenesis. *Geol. Rundsch.* 43, 469-474.
- HARWARD, M. E., CARSTEA, D. D. and SAYEGT, A. H. 1969. Properties of vermiculites and smectites: expansion and collapse. *Clays Clay Miner.* 16, 437-447.
- HINO, M. and SATO, T. 1971. Infrared absorption spectra of silicia gel-water, water-d₂, and water-¹⁸O system. *Bull. Chem. Soc. Japan* 44, 33-37.

- HORVARTH, I. and NOVAK, I. 1976. Potassium fixation and the change of the montmorillonite layer. Proc. Int. Clay Conf. México, 185-189.
- HOWER, J. and MOWATT, T. G. 1966. The mineralogy of illites and mixed-layer illite/montmorillonites. Amer. Miner. 51, 825-854.
- JACKSON, M. L., HSEUNG, Y., COREY, R. B., EVANS, E. J. and VANDER HEUVEL, R. C. 1952. Weathering of clay-size minerals in soils and sediments, II. Chemical weathering of layer silicates. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 16, 3-6.
- MILLOT, G. 1970. Geology of clays. Springer-Verlag, New York.
- NASH, V. E. 1979. Mineralogy of soil developed Pliocene-Pleistocene terraces of the Tombigbee River in Mississippi. Soil Sci. Soc. Am. J. 43, 613-623.
- NORRISH, K. 1972. Factors in the weathering of mica to vermiculite. Proc. Int. Clay Conf. Spain. J. M. Serratosa (ed). Div. Ciencias CSIC, Madrid, 2, 417-432.
- REYNOLDS, R. C. and HOWER, J. 1970. The nature of interlaying in mixed-layer illite/montmorillonites. Clays Clay Miner. 18, 25-46.
- RECIO, P., GARCIA-GONZALEZ, M. T. y GARCIA VICENTE, J. 1985 a. Alfisoles de los Montes de Toledo. I. Perfil Typic Palexeralf. Estudio mineralógico de la fracción arcilla por difracción de rayos X y espectroscopía infrarroja. Anal. Edaf. (En prensa).
- RECIO, P., GARCIA-GONZALEZ, M. T. y GARCIA VICENTE, J. 1985 b. Alfisoles de los Montes de Toledo. II. Perfil Typic Palexeralf. Estudio mineralógico de la fracción arcilla por métodos térmicos de análisis. Determinaciones analíticas elementales. Anal. Edaf. (En prensa).
- ROBERT, M. and BARSHAD, I. 1972. Sur les propriétés et la détermination des minéraux argileux 2:1 expansibles (vermiculites-smectites). C. R. Acad. Sci. Paris, 275 D, 1463-1475.
- ROBERT, M. 1975. Principes de détermination qualitative des minéraux argileux à l'aide des rayons X. Ann. Agron., 26, (4), 363-399.
- SARKYSYAN, S. G. and KOTELNIKOV, D. D. 1972. Genesis and thermodynamic stability of dioctahedral and trioctahedral mixed-layer minerals in sedimentary rocks. Proc. Int. Clay Conf. Spain J. M. Serratosa (ed). Div. Ciencias. CSIC. Madrid, 281-289.
- SERRATOSA, J. M., HIDALGO, A., and VINAS, J. M. 1962. Orientation of OH bonds in kaolinite. Nature 195, 486-487.
- SHIMODA, S., KOHYAMA, N., and ISHIKAWA, Y. 1974. J. Miner. Soc. Japan 2: 19.
- SRODON, J. 1981. X-ray identification of randomly interstratified illite-smectite in mixture with discrete illite. Clay Min. 16, 297-304.
- SUDO, T. and SHIMODA, S. S. 1978. Clays and clay minerals of Japan. Elsevier Sci. Amsterdam.
- VICENTE, M. A., RAZZAGHE, M. and ROBERT, M. 1977. Formation of aluminium hydroxy vermiculite (intergrade) and smectite from mica under acidic conditions. Clays Clay Miner. 12, 101-111.
- WEAVER, C. E. 1958. The effects and geologic significance of potassium fixation by expandable clay minerals derived from muscovite, biotite, chlorite and volcanic material. Amer. Miner. 43, 839-861.
- WEIR, A. H. and GREENE-KELLY, R. 1962. Beidellite. Amer. Miner. 47, 137-146.

Recibido para publicación: 25-VI-85.

**ALFISOLES DE LOS MONTES DE TOLEDO.
IV. PERFIL ULTIC PALEXERALF. ESTUDIO MINERALOGICO DE
LA FRACCION ARCILLA POR METODOS TERMICOS DE
ANALISIS. DETERMINACIONES ANALITICAS ELEMENTALES.**

Por

P. RECIO y M. T. GARCIA—GONZALEZ

SUMMARY

**IV. PROFILE ULTIC PALEXERALF. MINERALOGICAL STUDY OF THE CLAY
FRACTION BY THERMAL METHODS. ELEMENTAL ANALYTICAL
DETERMINATIONS.**

The distribution of the major, minor and several trace elements (Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Rb, Sr, Zr, Ba and Pb) has been studied in the clay fraction of the different horizons of an Ultic Palexeralf profile located on the Montes de Toledo (Spain). These results have been related with the mineralogical species identified through X-ray diffraction IR spectroscopy and thermal techniques.

The distribution of the most part of the trace elements is governed by the 2:1 phyllosilicates mica and interstratified mica-smectite. Other factors, such as the medium acidity, hydromorphic conditions and the presence of iron compounds, can also play an important rôle.

INTRODUCCION

En este trabajo se aplican los métodos térmicos de análisis a la identificación de las especies mineralógicas componentes de la fracción arcilla de un perfil clasificado como Ultic Palexeralf, situado en los Montes de Toledo. Se han determinado las concentraciones de los elementos Na, Mg, Al, Si, P, K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Rb, Sr, Zr, Ba y Pb, con el objeto de relacionar estos datos con la información mineralógica proporcionada por este trabajo y otro anterior (Recio y García González, 1985). Se ha obtenido información sobre las dependencias entre la especie mineral y la concentración de los distintos elementos, así como de la influencia de acidez e hidromorfía en la distribución de los elementos traza en los diferentes horizontes del perfil.

Las técnicas y métodos utilizados en la parte experimental se encuentran descritos en un trabajo anterior (Recio et al., 1985).

RESULTADOS Y DISCUSION

Métodos térmicos de análisis

En las Figs 1 y 2 se encuentran las curvas de ATD, TG y DGT de la fracción arcilla de algunos horizontes del perfil.

El análisis de la fracción menor de $2 \mu\text{m}$ de la zona pizarra y arenisca del horizonte Cg, se ha realizado con muestra no tratada con citrato-ditionito. Los compuestos de hierro de baja cristalinidad, existentes en ambos materiales, dan lugar a un efecto exotérmico de intensidad

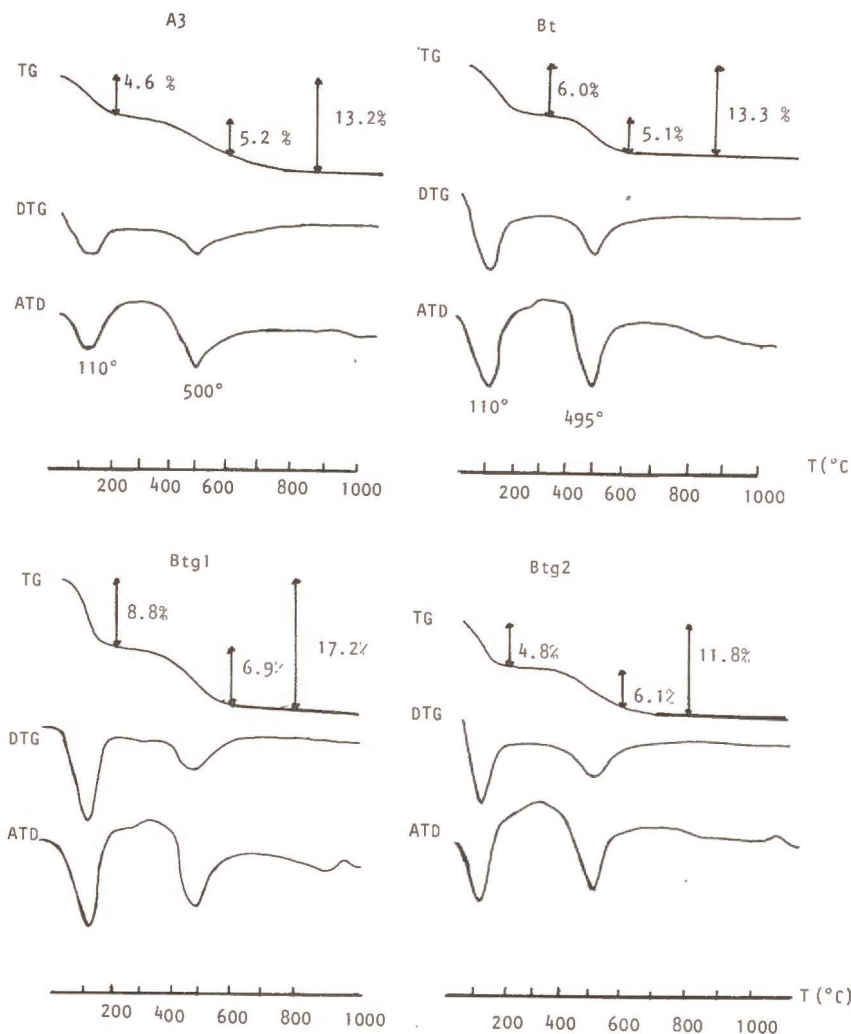


FIG. 1.—Curvas de análisis térmico diferencial (ATD), termogravimétrico (TG) y derivada del termogravimétrico (DTG) de la fracción arcilla de algunos horizontes del perfil.

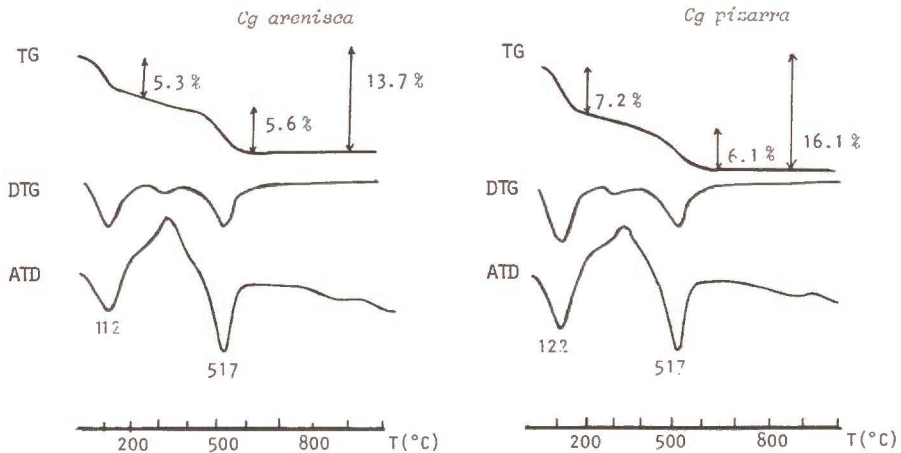


FIG. 2.—Curvas ATD, TG y DTG de la fracción arcilla de las dos zonas del horizonte Cg.

media en la región 225-425°C. La transformación sufrida con el calentamiento no va acompañada de pérdida de peso, lo que descarta la presencia de materia orgánica. Mackenzie (1957), muestra con geles de hierro preparados sintéticamente, que estos son capaces de adsorber grandes cantidades de agua, dando lugar a un fuerte efecto exotérmico en la región de temperaturas bajas. Por otra parte, este mismo autor señala también que la temperatura exacta del máximo exotérmico y la forma de la curva, están condicionados por el pH de la suspensión y la temperatura de la misma. Así a pH 5 y 17°C dan lugar a un pico, intenso, muy agudo a 275°C que se desplaza hasta cerca de 330°C cuando el pH es 7, observándose además el ensanchamiento del efecto. El aumento de la temperatura de la suspensión afecta a la temperatura del máximo que se traslada hacia temperaturas más altas.

En la muestra de origen pizarroso la curva de ATD muestra una pequeña inflexión a 295°C debida a la pérdida, en forma de agua, de los hidróxilos de la goetita, mineral cuya presencia fue establecida anteriormente por difracción de rayos X (Recio y García-González, 1985). La curva DTG muestra a esta temperatura un efecto de intensidad muy débil, mientras que el análisis termogravimétrico indica que la pérdida de peso es cercana al 1%. En la muestra Cg arenisca la presencia de goetita se intuye por un hombro endotérmico adosado al efecto atribuido a los geles de hierro. En muestras puras, la goetita pierde en este proceso aproximadamente el 10% de su peso (Todor, 1976). Mackenzie y Berggren (1970) y Smykatz-Kloss (1974) observan que el efecto característico de este oxihidróxido aparece entre 360-410°C cuando está bien cristalizado, descendiendo a 190-235°C cuando se trata de especies desordenadas. El contenido en goetita del material analizado debe ser in-

inferior al 10% ya que la presencia de compuestos de hierro de baja cristalinidad sugiere que el grado de ordenamiento de este mineral no va a ser elevado y por tanto retendrá más agua que la goetita bien ordenada. Respecto a su límite de detección utilizando los métodos térmicos, los trabajos de Smykatz-Kloss (1974) indican que puede ser detectado cuando su contenido en mezclas de filosilicatos (caolinita, mica, esmectita) es al menos del 3,5% en peso. En estas mezclas preparadas con especies bien cristalizadas, la temperatura del máximo de goetita aparece alrededor de 370°C cuando su proporción es del 7% y a 360°C cuando constituye menos del 5%.

En los restantes horizontes la extracción de los productos de hierro amorfos (método de Mehra y Jackson, 1960) da lugar a que en la región 225-425°C el trazado de las curvas TG, DGT y ATD sea una línea casi continua.

Comparando las curvas obtenidas en el análisis de los tres horizontes superiores con los horizontes B y C del perfil, destaca en estos últimos la mayor intensidad de los efectos endotérmicos, especialmente en la región de bajas temperaturas. Este hecho es atribuido a que los horizontes inferiores contienen mayor proporción del interestratificado mica-esmectita. Como se sabe, la esmectita es capaz de retener entre sus láminas grandes cantidades de agua, que pierde a temperaturas inferiores a 200°C. En los horizontes A1, A2 y A3 la pérdida de peso es inferior al 5%. También en ellos, el efecto endotérmico debido a la deshidroxilación de los filosilicatos es más abierto y menos intenso que en los horizontes inferiores debido a que la proporción de caolinita es mayor en estos últimos. La deshidroxilación de este mineral del tipo 1:1, tiene lugar en un intervalo de temperatura más reducido que la de los minerales micáceos. La pérdida de agua estructural es más alta en caolinita, por lo que su efecto endotérmico es de mayor intensidad y presenta mayor agudeza que en el caso de micas y esmectitas.

En la región de temperaturas medias, la existencia de pequeñas cantidades del interestratificado mica-esmectita, queda reflejada en las curvas TG y DGT, por la amplitud del efecto debido a la deshidroxilación de los filosilicatos. Aunque el análisis por ATD, indica que la movilización del agua estructural finaliza alrededor de 550°C, las curvas TG y DGT muestran que la pérdida de peso, aunque con intensidad muy baja, no termina hasta cerca de 600°C. En este sentido Cole (1955) ha observado que cuando predomina el componente micáceo (como en este perfil), el efecto parece finalizar cerca de 500°C, mientras que cuando el mayor número de láminas corresponde a esmectita, la deshidroxilación no termina hasta 700°C.

Determinaciones analíticas elementales

En la Tabla I se recogen las concentraciones de los elementos mayoritarios, minoritarios y traza de la fracción arcilla de los diferentes horizontes del perfil.

Al estudiar los datos analíticos de los distintos horizontes, debe con-

TABLA I

Determinaciones analíticas. Fracción arcilla. Concentraciones de los elementos mayoritarios y minoritarios en %, contenido de elementos traza en ppm. Fe₂O₃ engloba al hierro existente como FeO y Fe₂O₃. A SiO₂/Al₂O₃, B SiO₂/Fe₂O₃, C SiO₂/R₂O₃.

	A1	A2	A3	Bt	Btg1	Btg2	Cg pizarra	Cg arenisca
SiO ₂	52,39	61,49	52,81	47,70	48,10	56,51	68,37	48,93
Al ₂ O ₃	30,93	24,09	30,15	33,36	33,87	26,52	17,39	31,36
Fe ₂ O ₃	8,07	8,74	8,41	11,88	12,22	9,74	5,78	12,67
MgO	1,63	1,19	1,31	1,47	1,48	1,64	1,67	1,74
CaO	,64	,40	,34	,56	,56	,56	,88	,57
K ₂ O	4,99	3,46	4,93	3,94	3,88	4,31	3,32	3,64
P ₂ O ₅	,30	,12	,11	,13	,13	,13	,07	,15
TiO ₂	1,08	,90	,96	,63	,61	,65	1,27	,71
MnO	,22	,02	,03	,02	,02	,08	,05	,02
Na ₂ O	,46	,48	,25	,17	,17	,34	,20	,49
A	2,88	4,34	2,98	2,43	2,41	3,62	6,68	2,65
B	17,31	18,76	16,75	10,70	10,49	14,67	31,54	10,30
C	2,47	3,52	2,53	1,98	1,96	2,90	5,51	2,11
Cr	150	137	146	173	175	164	158	164
Co	20	19	17	5	9	10		
Ni	30	24	57	50	52	49	41	36
Cu	20	16	15	14	17	77	18	16
Zn	31	26	72	57	59	118	58	56
Rb	117	119	195	167	165	167	153	142
Sr	89	85	82	84	81	80	50	37
Zr	808	844	144	111	120	119	144	124
Ba	643	602	600	1114	1083	1052	905	952
Pb	45	39	60	58	58	49	39	42

siderarse que debido a la presencia de pequeñas cantidades de feldespato en los horizontes superiores el contenido de K₂O determinado en las muestras de la fracción arcilla, no puede ser totalmente asignado a la existencia de mica dioctaédrica, ya que una pequeña proporción del mismo va a encontrarse en la estructura de aquellos silicatos. Por otra parte, existe un interestratificado mica-esmectita (más abundante en los horizontes profundos del perfil) que contribuye a elevar las concentraciones de SiO₂, Al₂O₃ y especialmente K₂O en las muestras de arcilla analizadas. Hower y Mowatt (1966) estudiando interestratificados mica-esmectita, observan que el contenido en K₂O varía de 6,0% cuando el 20% de las láminas son expandibles, a 5,2% y 2,5% cuando las lá-

minas de esmectita alcanzan el 30 y 50% respectivamente. El decrecimiento en la proporción de potasio no depende directamente de la relación mica-esmectita existente, ya que está también condicionado por el origen del interestratificado y por su tamaño de partícula.

En todos los horizontes y en la masa de estructura pizarrosa de Cg, el contenido en K_2O es cercano al 4%, indicando que los principales aluminosilicatos del perfil son de tipo 2:1 mica y mica-esmectita. Por otra parte, la relación K_2O/MgO indica que la proporción del interestratificado mica-esmectita aumenta con la profundidad, concentrándose en el horizonte Cg. La formación de este mineral a partir de estructuras micáceas, se inicia precisamente por el lavado del potasio interlaminar, que es sustituido por otros cationes (principalmente magnesio) con mayor esfera de hidratación. En una etapa posterior, el magnesio del medio puede entrar en la capa octaédrica del silicato sustituyendo al aluminio. El mineral resultante contiene por tanto, mayor cantidad de magnesio (de cambio y estructural) que la mica de partida. La razón K_2O/MgO calculada a partir de los análisis proporcionados por Hower y Mowatt (1966), suele ser próxima a 0,9 en interestratificados en que la proporción de esmectita oscila entre 30 y 55%. En micas octaédricas, Weaver y Pollard (1975) obtienen que la razón K_2O/MgO es aproximadamente de 1,2. En los horizontes B y C del perfil, oscila entre 0,9 en la masa de estructura pizarrosa de Cg y 1,1 en los horizontes B. Por tanto, estos resultados coinciden con los obtenidos al utilizar las técnicas de identificación mineralógica de difracción de rayos X y métodos térmicos, ya que la proporción del interestratificado aumenta suavemente al descender en el perfil.

El estudio de la razón SiO_2/Al_2O_3 (alrededor de 3,0), indica que además de mica y mica-esmectita existe en los diferentes horizontes un filossilicato laminar más rico en aluminio que las especies 2:1 descritas, confirmando la presencia de caolinita en la fracción arcilla del perfil.

La mayor parte del hierro determinado en el análisis cuantitativo, corresponde a óxidos e hidróxidos de este elemento. Efectivamente, la recopilación de Weaver y Pollard (1975) muestra que aunque la proporción de Fe_2O_3 en las micas dioctaédricas no supera generalmente el 4% (dependiendo de su origen), gran parte de este hierro corresponde a impurezas, ya que frente a 1,53 átomos de aluminio octaédrico, la proporción de hierro ferroso es tan sólo de 0,03 y la del catión férrico 0,22. En los interestratificados mica-esmectita (Weaver y Pollard, 1975) el aluminio ocupa aproximadamente el 1,56% de las posiciones octaédricas, los cationes Fe (III) y Fe (II) el 0,14 y 0,04% respectivamente, siendo el 0,26% restante ocupado por magnesio. En la caolinita aunque es posible la sustitución de aluminio por hierro o por titanio en la capa octaédrica, Grim (1968) indica que este hecho queda restringido a especies pobremente cristalizadas. Por tanto, la proporción de hierro estructural en los filossilicatos existentes en el perfil es pequeña y el alto contenido de este elemento, determinado en los diferentes horizontes debe ser, casi exclusivamente, atribuido a compuestos de hierro propios. No obstante, el contenido en goetita observado por las diferentes téc-

nicas utilizadas para la identificación mineralógica, no justifica la alta proporción de Fe_2O_3 determinada. En ninguno de los horizontes, aun en aquellos en que existen condiciones hidromórficas, ha sido detectada la presencia de lepidocrocita, por lo que el exceso de hierro observado debe encontrarse formando compuestos de hierro de baja cristalinidad.

Los datos procedentes del análisis mineralógico y las concentraciones de los diversos óxidos determinadas en la fracción arcilla del perfil, permiten afirmar que el contenido medio de mica en los dos horizontes superiores es aproximadamente el 60%, mientras que en los horizontes argílicos es tan sólo el 40%, siendo su proporción intermedia en el horizonte A3 (55%). El decrecimiento del contenido de mica en el perfil, está relacionado con el aumento del interestratificado mica-esmectita del que se han encontrado indicios en el horizonte A1, cantidades inferiores al 15% en el horizonte A3 y al 25% en los tres horizontes argílicos. Se observa, por tanto, que la proporción de este mineral aumenta al descender en el perfil tendiendo a concentrarse en aquellas zonas en que imperan condiciones reductoras. La proporción de caolinita oscila entre 15% en los horizontes superiores y 25% en los argílicos. Entre los minerales de hierro destaca goetita que se concentra en los horizontes argílicos (10%) decreciendo al ascender en el perfil. Existen además cantidades variables de oxihidróxidos de hierro de baja cristalinidad, más abundantes en los horizontes inferiores, y pequeñas proporciones de cuarzo y feldespato en los tres horizontes superficiales, así como indicios de clorita en el horizonte A1.

Respecto a la distribución de los elementos traza estudiados en los diferentes horizontes del perfil (Tabla I), debe señalarse que mientras el contenido en Zr decrece rápidamente con el aumento de la profundidad, la concentración de Cr, Ni, Zn y Pb es mayor en los horizontes argílicos.

Aunque es conocida la asociación de Rb, Sr y Ba con los minerales micáceos, la proporción de estos últimos estimada a partir de los datos mineralógicos y de las concentraciones de los elementos mayoritarios y minoritarios en la fracción arcilla, no es consecuente con el contenido en Ba y Sr de los horizontes inferiores del perfil. No obstante, Aubert y Pinta (1977) señalan que Sr y Ba, suelen concentrarse y acumularse bajo condiciones hidromórficas. La importancia de la existencia de hidromorfismo en la acumulación de Ba ha sido también puesta de manifiesto por Stoops y Zavaleta (1978) que han encontrado evidencias de neoformación de barita en diversos alfisoles y ultisoles (aquic). Observan estos autores que la presencia de barita está restringida a aquellos horizontes del perfil, donde existen también nódulos de oxihidratos de hierro, no siendo encontrado este mineral en las zonas donde no impera el hidromorfismo.

La concentración de Cr, Co, Ni, Cu, Zn, y Pb está fuertemente relacionada con el contenido en compuestos de hierro de cada horizonte, así como con el pH y Eh del medio, siendo también importante la influencia de los minerales de la arcilla. Los trabajos de Rambaud

(1969), Hughes (1981) y Mosser (1982) coinciden en afirmar que la retención de elementos traza por la caolinita es de muy escasa importancia, por lo que serán los minerales micáceos y el interstratificado mica-esmectita los únicos filosilicatos existentes en el perfil capaces de alojar a estos elementos.

Confirmando las observaciones expuestas, debe hacerse referencia a los trabajos de Ellis y Knezek (1972), que comprueban que la montmorillonita puede adsorber zinc y cobre en cantidades superiores a las de su capacidad de cambio catiónico. Dado que estos autores han trabajado con material esmectítico procedente de suelos desarrollados en medio neutro o básico y que las láminas de esmectita del interstratificado del perfil no se comportan como una "montmorillonita verdadera", sus afirmaciones deben ser consideradas tan sólo como orientativas, no pudiendo ser plenamente aplicadas al perfil objeto de estudio. Por otra parte, Ellis y Knezek (1972) indican que posiblemente el exceso de adsorción, se debe realmente a la precipitación de los hidróxidos de Zn (OH)₂ y Cu(OH)₂ en posiciones interlaminares. Sobre el alojamiento de los elementos traza en los filosilicatos, Elgabaly (1950) señala que el zinc puede situarse en posiciones de cambio o en la capa octaédrica. Hernández et al. (1975) indican también que los minerales de la arcilla pueden adsorber Zn de forma reversible como catión de cambio y de forma irreversible por penetración de este elemento en la red cristalina, donde sustituye fundamentalmente al catión Mg (II). En el caso concreto de la montmorillonita Ellis y Knezek (1972) señalan que es posible la entrada de Cu y Zn en la capa octaédrica. Sin embargo, Hodgson (1963) indica que únicamente es posible la retención de estos elementos traza en posiciones interlaminares y que la entrada de los cationes Cu (II), Zn (II) y Zn (IV) en la capa octaédrica, ocasionaría la destrucción del filosilicato.

Respecto a la retención de Cr por los aluminosilicatos laminares, pequeñas cantidades del mismo deben estar asociadas a la presencia de mica donde sustituye al aluminio octaédrico. Sin embargo, en este perfil la concentración de Cr aumenta con la profundidad, siendo ligeramente mayor en aquellos horizontes donde el contenido en Fe₂O₃ es más elevado.

CONCLUSIONES

La aplicación de las técnicas de difracción de rayos X, espectroscopía IR y métodos térmicos de análisis al estudio de la mineralogía de la fracción arcilla del perfil y su relación con los resultados de las determinaciones elementales, ha permitido llegar a las siguientes conclusiones:

1. La influencia de los compuestos de hierro en la retención de elementos traza, se pone especialmente de manifiesto en el caso del Cr, cuya concentración es mayor en aquellos horizontes donde la cantidad de Fe₂O₃ es más elevada.

2. La existencia de condiciones hidromórficas favorece la acumulación de Ba en los horizontes profundos del perfil.
3. Aunque es un hecho conocido que la acidez del medio determina la reducción del contenido en Co, Ni y Cu, en el caso de este perfil no ha podido ponerse de manifiesto en los horizontes profundos, debido a la influencia de los filosilicatos de tipo 2:1, mica e interestratificados mica-esmectita.
4. Aunque la difracción de rayos X indica que la proporción de goetita es mayor en la zona denominada arenisca del horizonte Cg que en la pizarra, la presencia de compuestos de hierro de baja cristalinidad impide confirmar este resultado mediante métodos térmicos de análisis.

RESUMEN

Se estudia en este trabajo la distribución de los elementos mayoritarios, minoritarios y algunos traza (Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Rb, Sr, Zr, Ba y Pb) en la fracción arcilla de los distintos horizontes de un perfil Ultic Palexeralf situado en los Montes de Toledo. Estos resultados se relacionan con las especies mineralógicas que han sido identificadas por las técnicas de difracción de rayos X, espectroscopía IR y métodos térmicos de análisis.

Los filosilicatos 2:1, mica e interestratificados mica-esmectita, componentes fundamentales del perfil, rigen la distribución de la mayor parte de los elementos traza, aunque existen otros factores como la acidez del medio, hidromorfía y proporción de compuestos de hierro que juegan un papel importante.

*UEI Mineralogía de Arcillas
Instituto de Edafología
y Biología Vegetal. Madrid.*

BIBLIOGRAFIA

- AUBERT H. and PINTA M. 1977. Trace elements in soils. (Developments in Soils Science 7 ORSTOM). Elsevier Co., Amsterdam.
- COLE W. F. 1955. Interpretation of DTA curves of mixed-layer minerals of illite and montmorillonite. *Nature*, 175, 384-385.
- ELGABALY M. M. 1950. Mechanism of zinc fixation by colloidal clays and related minerals. *Soil Sci.* 69, 167-174.
- ELLIS B. G. and KNEZEK B. D. 1972. Adsorption reactions of micronutrients in soils. En: *Micronutrients in Agriculture*. (J. J. Mortvedt, P. M. Giordano and W. L. Lindsay, ed). Soil Sci. Soc. Amer. Inc., Wisconsin. 59-79.
- GRIM R. E. 1968. *Clay Mineralogy*. McGraw-Hill, New York.
- HERNANDEZ T., REVERTE L. y COSTA F. 1975. Comportamiento del Zn en suelos calizos. I. *Anal. Edaf.* 34, 607-621.
- HODGSON J. F. 1963. Chemistry of the micronutrients elements in soils. *Advance Agron.* 15, 119-159.
- HOWER J. and MOWATT T. G. 1966. The mineralogy of illites and mixed-layer illite montmorillonites. *Amer. Miner.* 51, 825-854.
- HUGHES J. C. 1981. *Mineralogy*. En: *Characterization of soils in relation to their classification and management for crop production: Examples from some areas of the humid tropics* (D. J. Greenlad, ed). Clarendon Press, Oxford. 30-50.

- MACKENZIE R. C. 1957. The illite in some old red sandstone soils and sediments. *Miner. Mag.* 31, 681-689.
- MACKENZIE R. C. and BERGGREN G. 1970. Oxides and hydroxides of higher-valency elements. En: *Differential Thermal Analysis*. (R. C. Mackenzie, ed). Academic Press, London. 272-302.
- MEHRA O. P. and JACKSON M. L. 1960. Iron oxides removal soil clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. *Clays Clay Miner.* 5, 317-327.
- MOSSER C. 1982. Elements traces des argiles: des Marqueurs. *Clay Min.* 18, 139-151.
- RAMBAUD D. 1969. Etude sur la repartition des elements trace dans quelques sols ferrallitiques. ORSTOM. These Sciences, Paris.
- RECIO P. y GARCIA-GONZALEZ M. T. 1985. Alfisoles de los Montes de Toledo. III. Perfil Ultic Palexeralf. Estudio mineralógico de la fracción arcilla por difracción de rayos X y espectroscopía infrarroja. *Anal. Edaf.* (En prensa).
- RECIO P., GARCIA-GONZALEZ M. T. y GARCIA VICENTE J. 1985. Alfisoles de los Montes de Toledo. II. Perfil Typic Palexeralf. Estudio mineralógico de la fracción arcilla por métodos térmicos de análisis. Determinaciones analíticas elementales. *An. Edaf. y Agrobiol.* Núm. 5-6. Págs. 649-661.
- SMYKATZ-KLOSS W. 1974. *Differential thermal analysis. Application and results in mineralogy*. Spinger-Verlag, Berlin.
- STOOPS G. J. and ZAVALETA A. 1978. Micromorphological evidence of barita neof ormation in soils. *Geoderma* 20, 63-70.
- TODOR D. N. 1976. *Thermal analysis of minerals*. Abacus Press. Tunbridge Wells, Kent. U. K.
- WEAVER C. E. and POLLARD L. D. 1975. *The chemistry of clay minerals*. (Developments in sedimentology, 15). Elsevier Co., Amsterdam.

Recibido para publicación: 25-VI-85.

DETERMINACION DE LA ACTIVIDAD FOSFATASA EN SUELOS GALLEGOS. PRECISIONES AL METODO DE SARATHCHANDRA Y PERROTT

Por

TRASAR CEPEDA, M.^a C.; GIL SOTRES, F. y GUITIAN OJEA, F.

Cátedra de Edafología. Fac. Farmacia. Santiago

SUMMARY

DETERMINATION OF PHOSPHATASE ACTIVITY IN GALICIAN SOILS. MODIFICATIONS TO THE METHOD OF SARATHCHANDRA AND PERROTT

This article discusses various modifications of the method developed by Sarathchandra and Perrott, 1981, for determining phosphatase activity in organic-matter-rich soils. The modifications affect the concentration of substrate and the concentration of TCA used to quench enzyme activity. Attention is drawn to the need to determine, before incubation, the neutralization response of the soil when treated with acids and bases, since the high buffering capacity of Galician soils is liable to alter the pH of the buffer recommended in the original method.

INTRODUCCION

La determinación de la actividad fosfatasa (fosfomonoesterasa) en suelos con contenido elevado en materia orgánica siguiendo el método clásico de Tabatabai y Bremner, 1969, tropieza con el inconveniente de que los extractos de NaOH usados para la recuperación y medida del p-nitrofenol liberado por la actividad enzimática, disuelven parte de la materia orgánica del suelo con lo que los extractos proporcionan lecturas de fondo elevadas y variables. Este problema ha sido resuelto mediante las modificaciones impuestas por Sarathchandra y Perrott, 1981, que utilizan éter dietílico, en vez de la sosa, para extraer el p-nitrofenol. No obstante, cuando se aplicó este método a varios suelos gallegos, cuyos elevados contenidos en materia orgánica son bien conocidos, surgieron una serie de inconvenientes, cuya resolución experimental es el motivo de esta nota, debidos fundamentalmente a la concentración del sustrato utilizada, a la concentración del ácido tricloroacético y al elevado poder amortiguante de los suelos ensayados.

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

a) *Elección de la concentración del sustrato.*—Tanto el método original de Tabatabai como la modificación de Sarathchandra utilizan como sustrato p-nitrofenil fosfato de concentración 115 mM. Sin embargo, esta concentración proporciona una disolución de elevada coloración amarilla aún preparada recientemente y con producto químico de

calidad contrastada (se utilizó producto de la casa Merck, art. n.º 6850). Debido a ello se utilizó la concentración de 16 mM, ensayada previamente por Solla, P., 1983, y que según la cinética estudiada por este autor verifica la exigencia de ser al menos 5 veces el valor de K_m (Malcolm, 1983). La disolución de p-nitrofenil fosfato de esta concentración apenas presenta coloración (el valor del blanco en estas condiciones es de 0,019 unidades de absorbancia medida frente al agua destilada) aunque a medida que transcurre el tiempo a partir de su preparación se incrementa paulatinamente la coloración amarilla.

b) *Concentración del TCA.*—La utilización del ácido tricloroacético (TCA) se fundamenta en su aptitud para inhibir la actividad enzimática y se incorpora al sistema suelo-sustrato al final de la incubación. Sarathchandra indica una concentración del 20%. Sin embargo, en las primeras experiencias realizadas se comprobó que dicha concentración no era suficiente para frenar la actividad enzimática continuando la hidrólisis del p-nitrofenil fosfato. La concentración óptima a utilizar se dedujo ensayando para una muestra de suelo diversas concentraciones (Tabla I), resultando ser la más idónea la del 60%, concentración, por otra parte, recomendada para la determinación del enzima aril-sulfatasa por la mayor parte de los autores.

TABLA I

Variación de la actividad fosfatasa en función de la concentración del TCA. Ensayo realizado al pH del suelo

Concentración TCA (w/v)	Actividad fosfatasa* $\mu\text{M} / \text{gr} / 30 \text{ min}$
0	4,40
20 %	4,20
40 %	4,19
60 %	0,71
80 %	0,75

* Medida en μM de p-nitrofenol liberados

c) *Capacidad tampón de los suelos.*—El tampón normalmente utilizado en los ensayos de actividad fosfatasa es el MUB (Universal Modificado, Tabatabai y Bremner, 1969) que no presenta acción inhibitoria sobre la fosfatasa y que presenta, mediante adiciones de ácido y base, efecto tampón en un rango muy amplio de pH, lo que le hace excepcionalmente útil para estudiar la variación de la actividad del enzima

en función del pH. Generalmente se suele incubar el suelo con el tampón ajustado a un determinado pH y considerar que el pH del sistema suelo-tampón-sustrato no varía con el tiempo. Sin embargo, si el suelo presenta un fuerte poder amortiguante, el pH del sistema puede no ser necesariamente el mismo que el del buffer usado, con lo que la curva de actividad frente al pH sería errónea. Este efecto es claro en los suelos ensayados por nosotros en los que la abundancia de materia orgánica desarrolla un fuerte efecto amortiguante (Tabla II), de forma que el rango teórico inicial de 3,5 a 11 queda en realidad limitado al intervalo de pH entre 3,8 y 6,2. Para paliar este inconveniente se realizó previamente la curva de neutralización del suelo en presencia del tampón y del sustrato mediante adiciones de ClH y NaOH de normalidad conocida, realizándose la determinación del pH treinta minutos después de la adición. La representación de los pH obtenidos frente a los equivalente de ácido o base añadidos permite interpolar las cantidades de ácido y base necesarias para que el sistema suelo-tampón-sustrato permanezca a un pH determinado. Experiencias posteriores nos indicaron que

TABLA II

Valores del pH inicial del tampón, pH del sistema suelo-sustrato-tampón después de la incubación y actividad fosfatasa. Ensayo con un suelo ácido con el 10% de materia orgánica.

pH tampón	pH después de la incubación	Actividad fosfatasa* $\mu\text{M} / \text{g} / 30 \text{ min}$
3,5	3,81	0,77
4,0	4,00	0,76
4,5	4,05	0,79
5,0	4,37	0,80
5,5	4,58	0,97
6,0	4,67	0,93
6,5	4,70	1,34
7,0	4,89	1,22
7,5	5,10	1,24
8,0	5,23	1,20
8,5	5,28	1,10
9,0	5,81	0,96
9,5	6,10	0,86
10,0	6,12	0,72
10,5	6,15	0,73
11,0	6,19	0,72

* Medida en μM de p-nitrofenol liberados

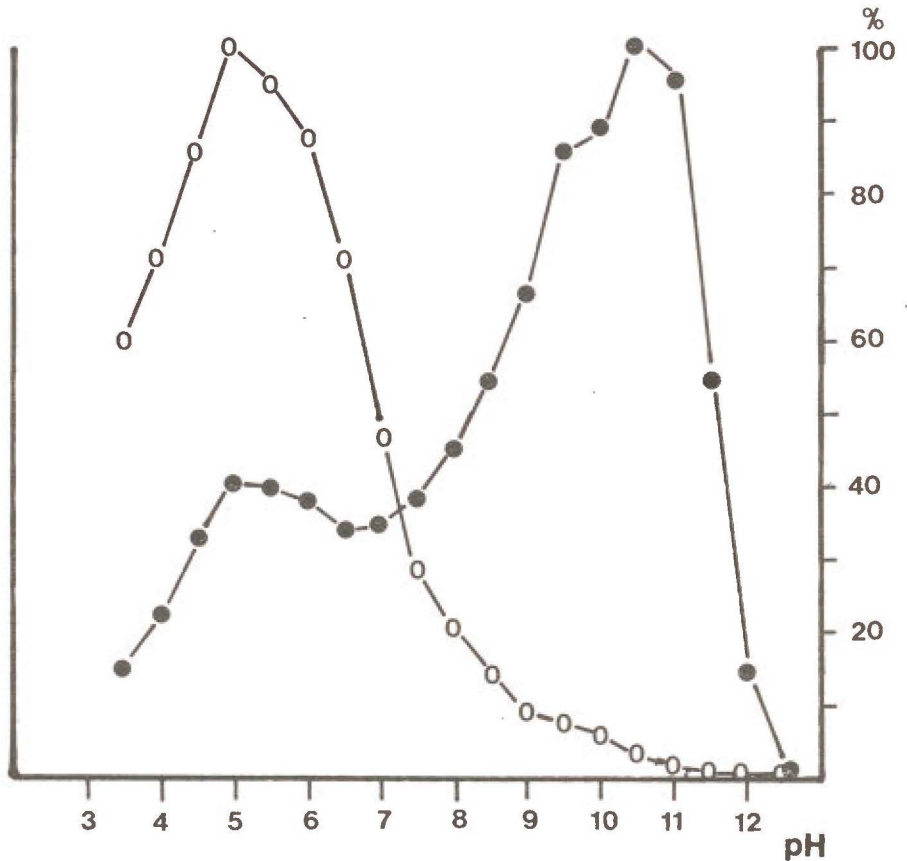


Fig. 1.—Variación de la actividad fosfatasa en función del pH del suelo, O, suelo ácido (pH = 4,7), ●, suelo calizo (pH = 8,2). Para facilitar la representación, la actividad se ha expresado como % del valor máximo alcanzado en cada uno de los suelos. Los valores son media de dos repeticiones.

la temperatura de incubación no afectaba para nada al valor de pH así conseguido.

d) *Aplicación de las modificaciones, resultados previos.*—Las modificaciones propuestas al método de Sarathchandra, que en todo lo demás se siguió fielmente, se están aplicando en la actualidad a un conjunto de suelos gallegos dentro de un programa de estudio de la dinámica del P orgánico. A título de ejemplo se presentan (Fig. 1) la variación frente al pH de la actividad fosfatasa de un suelo ácido sobre granito (pH = 4,7) y la de un suelo ligeramente alcalino sobre calizas (pH = 8,2). Destacan en las mismas la carencia de la actividad fosfatasa alcalina en el caso del suelo ácido y el poco desarrollo de la actividad fosfatasa ácida para el suelo de mayor pH. Este aspecto, de gran interés dentro del ciclo del P orgánico en el suelo está siendo objeto en la actualidad de un estudio más profundo.

RESUMEN

Se discuten varias modificaciones al método de Sarathchandra y Perrott, 1981, de determinación de la actividad fosfatasa en suelos ricos en materia orgánica, que afectan a la concentración del sustrato y a la concentración del TCA. Se indica la necesidad de realizar previamente a la incubación la curva de neutralización del suelo frente a ácidos y bases, ya que los elevados poderes amortiguantes de los suelos gallegos son capaces de desplazar los valores de pH del tampón universal utilizado.

BIBLIOGRAFIA

- MALCOLM, R. E. 1983. Assessment of phosphatase activity in soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 15, 4, 403-408.
- SARATHCHANDRA, S. U.; PERROTT, K. W. 1981. Determination of phosphatase and aryl-sulphatase activities in soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 13, 543-545.
- SOLLA, P. 1983. Estudio de fosfomonoesterasas del suelo. Tesina de Licenciatura. Fac. Biología. Univ. Santiago, 82 pp.
- TABATABAI, M. A.; BREMNER, J. M. 1969. Use of p-nitrophenyl phosphate for essay of soil phosphatase activity. *Soil Biology and Biochemistry*, 1, 301-307.

Recibido para publicación: 26-VI-85.

CONTRIBUCION AL ESTUDIO DE LA MOVILIZACION DE NITROGENO EN ECOSISTEMAS DEL CENTRO DE ESPAÑA

Por

A. GARCIA-VILLARACO y F. VELASCO DE PEDRO

Instituto de Edafología y Biología Vegetal, C.S.I.C. Madrid.

SUMMARY

CONTRIBUTION AT THE STUDY OF THE MOBILIZATION OF NITROGEN IN ECOSYSTEMS OF CENTRAL SPAIN

The nitrogen mineralisation in ten soils of Central Spain is studied in this paper. It is proved that, under normal conditions, the factor that mainly determines the intensity of that process is, more than the type of humus, the soil pH.

INTRODUCCION

Desde hace tiempo se viene prestando especial atención al estudio de las reservas de nitrógeno del suelo fácilmente movilizables, es decir utilizables por las plantas para su nutrición; estas reservas corresponden al nitrógeno mineralizable definido por DROUINEAU y LEFEBRE (1949).

En general, los principales aportes de nitrógeno al suelo en los ecosistemas naturales corresponden a los restos vegetales, y la naturaleza de estos residuos influye considerablemente en las características del humus.

Para distintos autores, el ciclo del nitrógeno, en lo que concierne a su mineralización en el suelo, varía sustancialmente según el tipo de humus (DUCHAUFOR, 1953; LEMÉE, 1967), siendo los humus moderadamente ácidos (*mull forestal* o *moder*) los que presentan un porcentaje de mineralización neta más elevado.

Según LEMÉE, 1967, puede admitirse que la cantidad de nitrógeno mineralizado en estufa a 28° C en seis semanas corresponde aproximadamente a lo que se mineraliza en condiciones naturales en el suelo a lo largo de un ciclo vegetativo anual. La cantidad de nitrógeno mineralizado, respecto al nitrógeno total, permite definir la actividad del humus; para estimar dicha actividad debe utilizarse el índice de mineralización máxima que puede alcanzarse antes de las seis semanas de incubación (DUCHAUFOR, 1953).

El objeto de este trabajo es el estudio de la mineralización del nitrógeno, en los horizontes superficiales de varios suelos del centro de España, desarrollados bajo distintas comunidades vegetales con el fin de tratar de determinar qué factores influyen de manera predominante en las disponibilidades de nitrógeno para las plantas. En un estudio posterior nos proponemos verificar si las conclusiones son igualmente aplicables en ecosistemas agrícolas en los que los aportes de nitrógeno se realicen exclusivamente en forma orgánica.

El tema reviste interés por cuanto la aplicación de los fertilizantes nitrogenados inorgánicos, por la gran movilidad de los nitratos, puede desembocar no sólo en grandes pérdidas por el lavado, sino en una progresiva contaminación de las aguas tanto subterráneas como superficiales.

MATERIAL Y METODOS

Material

Se ha estudiado el horizonte A_1 de 10 suelos distribuidos por el Sistema Central desarrollados sobre sustrato silíceo salvo el correspondiente a la muestra n.º 5. Sus características se describen brevemente a continuación.

Muestra n.º 1: Tierra parda subhúmeda desarrollada sobre Rotlehm en las proximidades de Jarandilla (Cáceres). Vegetación *Leuzeo-Quercetum pyrenaicae* RIV. MART & LADERO, 1970. Altitud, 610 m.

Muestra n.º 2: Tierra parda subhúmeda desarrollada sobre granito y gneis, situada entre Jaraiz de la Vera y Jarandilla (Km 41-42). Vegetación: Disclimax de castañar en el dominio climácico de la asociación correspondiente a la muestra anterior. Altitud, 530 m.

Muestra n.º 3: Tierra parda meridional sobre granodioritas, situado en el Km 43 de la carretera Madrid-Segovia por Navacerrada. Vegetación: pastizales oligótrofos de la alianza *Helianthemion guttati* Br. Bl. 1931 que representan una etapa avanzada de degradación del encinar correspondiente al dominio climácico de *Junipero-Quercetum rotundifoliae* RIV. MART. 1964. Altitud, 990 m.

Muestra n.º 4: Tierra parda subhúmeda sobre gneis localizada en el hayedo próximo a Montejo de la Sierra (Madrid). Vegetación: *Galio rotundifolii-Fagetum* RIV. MART. 1962. Altitud, 1260 m.

Muestra n.º 5: Suelo pardo calizo forestal situado en un enclave de calizas cretácicas en Guadalix de la Sierra (Madrid). Vegetación: *Cephalanthero-Quercetum valentinae* RIV. MART. 1959. Altitud, 840 m.

Muestra n.º 6: Ranker de tangel sobre gneis; situado en el puerto de la Morcuera. Vegetación: Facies de *Cytisus purgans* Boiss. en el dominio climácico de *Junipero-Cytisetum purgantis*. RIV. MART. 1963, Altitud, 1760 m.

Muestra n.º 7: Tierra parda subhúmeda sobre granito localizada en el Km 65 de la carretera de Navacerrada a Segovia. Vegetación: pinar de *Pinus sylvestris* L. perteneciente a la subasociación *Pinetosum* del *Junipero-Cytisetum purgantis*, RIV. MART. 1963. Altitud, 1440 m.

Muestra n.º 8: Ranker de tangel sobre granito; situada en el Puerto de Navacerrada. Vegetación: subasociación *Typica* del *Junipero-Cytisetum purgantis* RIV. MART. 1963. Altitud, 1880 m.

Muestra n.º 9: Suelo húmico de gley sobre gneis; localizada en el Puerto de Cotos. Vegetación: Praderas subhigrófilas de la alianza *Cynosurion cristati* Tx. 1947. Altitud, 1850 m.

Muestra n.º 10: Tierra parda subhúmeda sobre granito y gneis, situada en el Puerto de Piornal (Cáceres). Vegetación: *Halimio-Ericetum umbellatae*. RIV. GOD. 1964. Altitud, 1250 m.

Métodos

El estudio de la mineralización del nitrógeno se realizó por incubación en estufa según LEMEE (1967).

TABLA I

Índices de mineralización máxima en estufa a 28º C

N.º muestra	Tipo de humus	pH (en agua)	N total mg/100	I _m
1	Moder forestal	5,3	560	6,14
2	Mull forestal mesótrofo	6,0	230	4,86
3	Moder arenoso	6,1	162	4,18
4	Mull forestal oligótrofo	5,5	310	3,16
5	Mull cálcico	7,8	335	1,00
6	Moder subalpino	4,8	465	0,63
7	Mor	4,7	343	0,53
8	Moder subalpino	4,8	410	0,50
9	Anmoor ácido	5,4	383	0,45
10	Mull forestal oligótrofo	5,4	360	-0,19

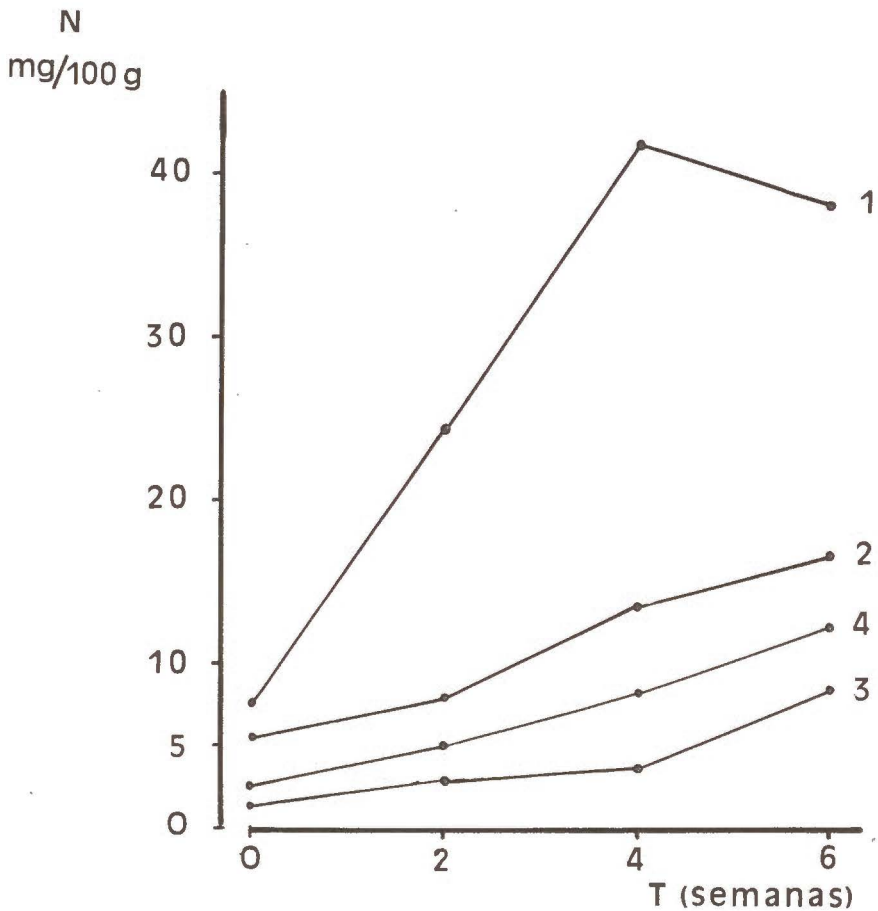


Fig. 1.—Curvas de mineralización correspondientes a las muestras 1, 2, 3 y 4.

Para la determinación de nitrógeno nítrico y amoniacal se siguió el criterio de CELORIO y HERNANDO (1972). En la valoración colorimétrica del nitrógeno amoniacal se aplicaron las indicaciones de CADAHIA (1973). El nitrógeno total se determinó por el método Kjeldahl modificado por IRION (1951).

La valoración del nitrógeno nítrico y amoniacal se realizó en todas las muestras inicialmente y después de 2, 4 y 6 semanas de incubación.

RESULTADOS

Los valores de la suma de nitrógeno nítrico y amoniacal se indican en las Figuras 1, 2 y 3, y en la Tabla I se expresan los valores de N total ini-

cial, el pH y los índices de mineralización máxima que salvo para la muestra n.º 1, se alcanzó a las seis semanas. La caracterización de los tipos de humus descritos en este trabajo ha sido ya realizada (GARCIA-VILLARACO, 1979).

DISCUSION

Considerando los índices de mineralización máxima se observa que las muestras que experimentan una mineralización más intensa (superior al 3 %) corresponden a *mull* o *moder* moderadamente ácidos y (salvo

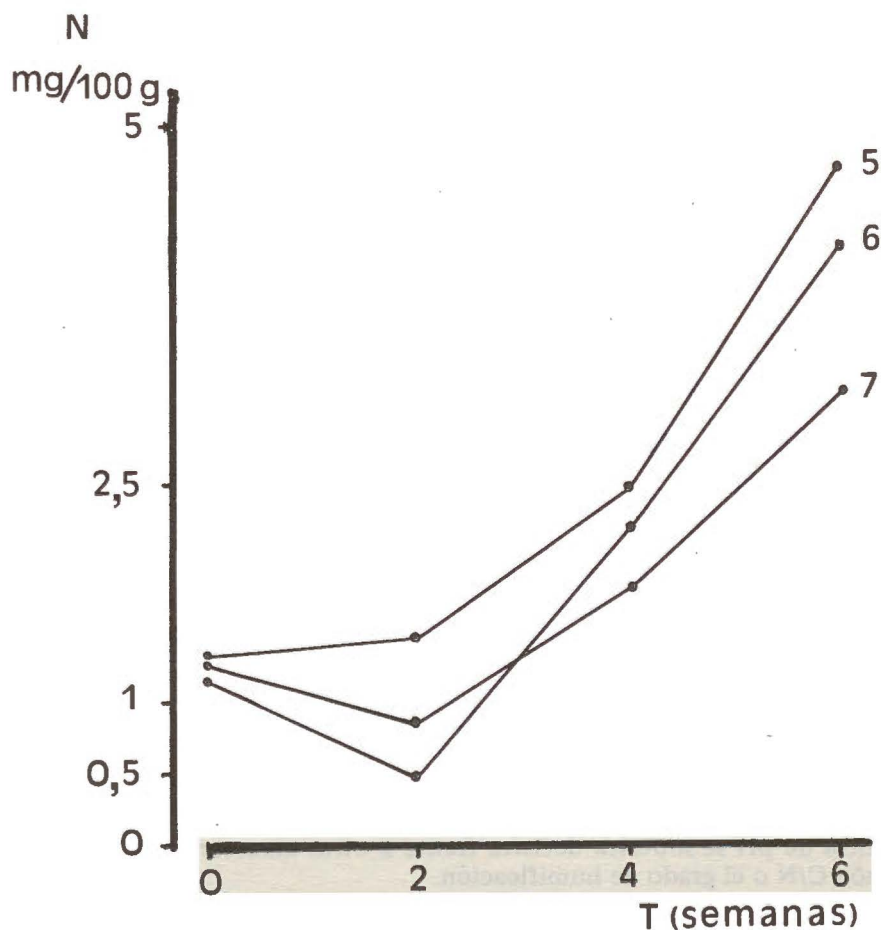


Fig. 2.—Curvas de mineralización correspondientes a las muestras 5, 6 y 7.

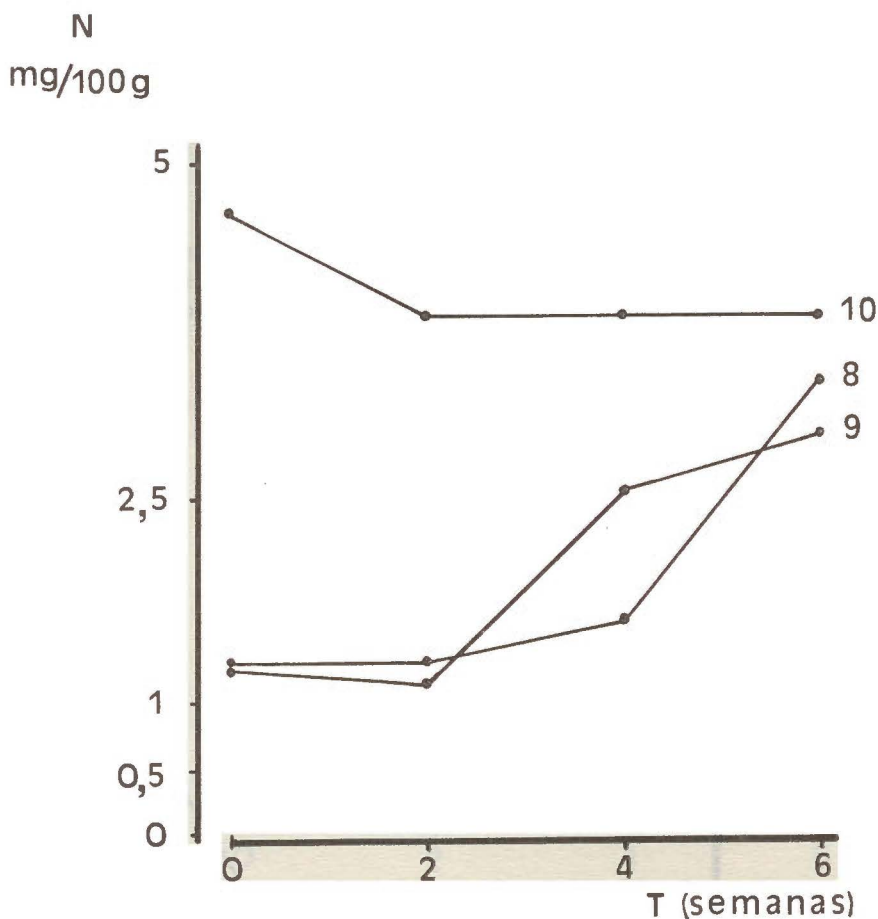


Fig. 3.—Curvas de mineralización correspondientes a las muestras 8, 9 y 10.

la n.º 3) desarrollados bajo comunidades dominadas por fagáceas: números 1 a 4.

El índice correspondiente a la muestra n.º 5, coincide exactamente con el valor medio que propone DUCHAUFOR (1970), para los mull cálcicos de renzina.

Las muestras n.º 6, 7 y 8 presentan índices bajos, en relación con su acidez acentuada, mostrando diferencias mínimas entre sí. La coincidencia de pH se muestra decisiva frente a otras características como la razón C/N o el grado de humificación.

El bajo índice correspondiente a la n.º 9 debe atribuirse a la disminución de la actividad biológica por la acusada hidromorfía que condiciona la formación de *anmoor*.

Finalmente la n.^o 10 es la única en la que I_m es negativo lo cual significa que, durante la incubación, la reorganización ha superado cuantitativamente a la propia mineralización; este hecho no debe interpretarse simplemente como resultado de una actividad biológica global débil. En efecto, hay dos circunstancias que permiten explicar la ausencia de mineralización neta:

a) Un contenido elevado en óxidos libres de aluminio que ejercen una eficaz acción estabilizadora frente a la degradación microbiana.

b) La acusada micotrofia de las ericáceas que en este caso forman parte de la cubierta vegetal.

En conclusión el factor que aparece como fundamental es el pH siempre que no se den circunstancias especiales. En condiciones normales sobre sustrato silíceo se tiende a la formación de un humus moderadamente ácido, de aquí que se hayan relacionado estos humus de tipo "medio" con la máxima intensidad de mineralización del nitrógeno.

RESUMEN

Se estudia la mineralización del nitrógeno en 10 suelos del Centro de España. Se comprueba que, en condiciones normales, es el pH más que el tipo de humus el factor fundamental que condiciona la intensidad de dicho proceso.

BIBLIOGRAFIA

- BONNEAU, M. 1967. *Sci. du Sol* 1; 19.
- CADAHIA, C. 1973. *Anal. Edaf. y Agrob.* XXXII (5-6): 479-500.
- CELORIO, E. & V. HERNANDO. 1972. *Anal. Edaf. y Agrob.* XXXI (7-8): 563-581.
- DROUINEAU, G. et G. LEFEVRE, 1949. *Ann. Agr.* 4: 518-536.
- DUCHAUFOUR, Ph. 1953. *Ann. L'Ecole Nat. Eaux et Forêts*, 13 (2): 401.
- GARCIA-VILLARACO, A. 1979. Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid (inédita).
- HERNANDO, V. y E. CELORIO. 1972. *Anal. Edaf. y Agrob.* XXXI (1-2): 95-107.
- IRION, W. 1951. *Z. Pl. Dung. Bodenk.* 52-193.
- LEMÉE, G. 1967. *Oecol. Plant.* 2: 285-324.

Recibido para publicación: 28-VI-85.

MOVILIZACION Y FIJACION BIOLOGICA DE CATIONES
EN ECOSISTEMAS FORESTALES.
I: DINAMICA DEL Ca Y Mg EN LOS HORIZONTES
SUPERFICIALES DEL SUELO

Por

ANTONIO GARCIA-VILLARACO

Instituto de Edafología y Biología Vegetal, C.S.I.C. Madrid.

SUMMARY

BIOLOGICAL MOBILITY AND FIXATION OF CATIONS
IN FORESTRY ECOSYSTEMS. I: DINAMISM OF THE Ca and Mg
IN THE SOIL SUPERFICIAL HORIZONS

A study on the dynamism of the förna hidrosoluble calcium and magnesium in the soil superficial hoirzons is realized, using experimental columns in the laboratory. The samples that exhibited a major efficiency in biological mobility are; 1) those belonging to less continental areas. 2) those collected by the end of the autumn. 3) those belonging to plants communities in which the biomass of the fagaceous, gramineous and papilionaceous is dominant.

INTRODUCCION

Los elementos movilizados por los vegetales y reincorporados a la superficie del suelo con la förna, van siendo liberados en parte por lavado, percolando a través del perfil del suelo (pluviolixiviados). Durante la percolación, la solución puede enriquecerse en un elemento dado a expensas del suelo que cede una parte de sus reservas movilizables en el mismo; o, por el contrario, puede haber un enriquecimiento del suelo por retención de parte del contenido del elemento en cuestión, en el extracto hidrosoluble de la förna. En el primer caso predomina la *liberación* del elemento por alteración de los minerales del suelo ("movilización química"), sobre la fijación y *retención* en forma biológica por los vegetales ("movilización biológica"); en el segundo caso, predomina la movilización biológica (JUSTE, 1965).

Son varios los factores que influyen en estas alternativas y su análisis conjunto permite prever las tendencias en uno u otro sentido para cada caso en particular. Hay que tener presentes fundamentalmente:

- El contenido en forma movilizable en el suelo
- La capacidad movilizadora de la vegetación
- La actividad biológica de los horizontes orgánicos
- La textura y mineralogía del suelo

SMIRNOVA (1964) estudiando la dinámica de Ca y Mg en un suelo podsólico bajo vegetación de pinar encontró que es al principio del verano cuando la retención por el suelo, de estos elementos liberados por la förna, es máxima.

VEDY (1972) comparó la influencia de dos tipos de vegetación (Abetal-hayedo con *Festuca* y Pinar con *Calluna*) empleando columnas experimentales que contienen sólo material mineral. Entre sus conclusiones podemos destacar:

1) Los cationes muy solubles como el potasio, son lavados rápidamente de los horizontes A_1 siendo fijados en buena proporción en los horizontes B por las arcillas. Los cationes menos solubles como calcio y magnesio son retenidos más eficazmente en los horizontes orgánicos.

2) En las etapas iniciales de la edafogénesis, la influencia de la razón aporte biológico anual/reservas movilizables del suelo, es fundamental mientras que la actividad biológica tiene un papel secundario.

En este trabajo se realiza un estudio de la dinámica del calcio y el magnesio hidrosolubles en los horizontes superficiales de diversos suelos españoles desarrollados bajo distintas comunidades vegetales.

MATERIAL Y METODOS

Material

Se eligieron catorce suelos distribuidos por el Sistema Central, desarrollados bajo diversas comunidades vegetales y sobre materiales silíceos (excepto el primero, elegido como referencia). La acusada uniformidad litológica permite centrar la atención en la dinámica de Ca y Mg. Descripción de los suelos estudiados:

Muestra n.º 1: Suelo pardo calizo forestal situado en un enclave de calizas cretácicas en Guadalix de la Sierra (Madrid). Vegetación: *Cephalanthero-Quercetum valentinae* RIV. MART. Altitud, 840 m.

Muestra n.º 2: Ranker de tangel sobre gneis, situado en el Puerto de la Morcuera. Vegetación: Facies de *Cytisus purgans* Boiss en el dominio climático de *Junipero-Cytisetum purgantis* RIV. MART. 1963. Altitud, 1760 m.

Muestra n.º 3: Tierra parda meridional sobre granodioritas, situadas en el Km 43 de la carretera Madrid-Segovia por Navacerrada. Vegetación: pastizales oligótrofos de la alianza *Helianthemion guttati* Br. Bl. 1931, que representan una etapa avanzada de degradación del encinar correspondiente al dominio climático de *Junipero-Quercetum rotundifoliae* RIV. MART. 1964. Altitud, 990 m.

Muestra n.º 4: Suelo húmico de gley sobre gneis, localizada en el Puerto de Cotos. Vegetación: Praderas subhigrófilas de la alianza *Cynosurion cristati* Tx. 1947. Altitud, 1850 m.

Muestra n.º 5: Tierra parda subhúmeda sobre gneis, localizada en el hayedo próximo a Montejo de la Sierra (Madrid). Vegetación: Hayedo perteneciente a la asociación *Galio rotundifolii-Fagetum*. RIV. MART. 1962. Altitud, 1260 m.

Muestra n.º 6: Tierra parda meridional. Localizada en las proximidades de Lozoya (Madrid) en el sabinar situado frente a la presa del mismo nombre. Vegetación: *Juniperetum hemisphaerico-thuriferae* RIV. MART. 1969. Altitud, 1200 m.

Muestra n.º 7: Igual a la anterior salvo que se trata de un enclave en el que la encina (*Quercus rotundifolia* Lamk.) domina como especie arbórea. Altitud, 1220 m.

Muestra n.º 8: Tierra parda subhúmeda. Situada próxima a las dos anteriores, en un melojar. Vegetación: *Luzulo-Quercetum pyrenaicae*. RIV. MART. 1962. Altitud, 1125 m.

Muestra n.º 9: Igual a la muestra número 5 salvo que corresponde a un enclave en el que domina el robel albar (*Quercus sessiliflora* Salisb.). Altitud, 1250 m.

Muestra n.º 10: Tierra parda subhúmeda sobre granito, localizada en el Km 65 de la carretera de Navacerrada a Segovia. Vegetación: pinar de *Pinus sylvestris* L. Perteneciente a la subasociación *Pinetosum* del *Junipero-Cytisetum purgantis* RIV. MART. 1963. Altitud, 1440 m.

Muestra n.º 11: Ranker de tangel sobre granito, situada en el Puerto de Navacerrada. Vegetación: subasociación *Typica* del *Junipero-Cytisetum purgantis* RIV. MART. 1963. Altitud, 1880 m.

Muestra n.º 12: Tierra parda subhúmeda desarrollada sobre Rotlehm, en las proximidades de Jarandilla (Cáceres). Vegetación: *Leuzeo-Quercetum pyrenaicae*. RIV. MART. & LADERO, 1970. Altitud 610 m.

Muestra n.º 13: Tierra parda subhúmeda sobre granito y gneis, situada en el Puerto de Piornal (Cáceres). Vegetación: *Halimio-Ericetum umbellatae*. RIV. GOD. 1964. Altitud, 1250 m.

Muestra n.º 14: Tierra parda subhúmeda sobre granito y gneis, situada entre Jaraiz de la Vera y Jarandilla (Cáceres) Km. 41-42. Vegetación: Disclimax de castañar en el dominio climácico de *Leuzeo-Quercetum pyrenaicae*. RIV. MART. & LADERO. 1970. Altitud, 530 m.

Métodos

El estudio de la movilización de cationes en el suelo, exigió la puesta a punto de un método que permitiera reproducir en el laboratorio los procesos de solubilización y lavado de cationes de la forma y la posterior percolación de este extracto hidrosoluble a través de los horizontes superiores del perfil del suelo.

Para la obtención de las muestras de suelo con una mínima alteración de la estructura y disposición de los horizontes, se utilizó una sonda especial de acero, de 5 cm de diámetro interior, diseñada especial-

mente con el fin de poder adaptar en su interior unos tubos de plástico rígido, los cuales se pueden extraer una vez obtenida la muestra en forma de cilindro conteniendo los 20 cm superiores del perfil del suelo.

Posteriormente, ya en el laboratorio, se separa la capa superior de fôrna para obtener previamente el extracto hidrosoluble de la misma.

El proceso completo se puede esquematizar como sigue:

- A) Obtención del extracto hidrosoluble de la fôrna
- B) Determinación de Ca y Mg en dicho extracto
- C) Percolación del extracto a través de la columna de 20 cm de suelo
- D) Determinación de Ca y Mg en el percolado obtenido

Obtención del extracto hidrosoluble de la fôrna:

La cantidad de fôrna utilizada en cada caso no fue exactamente el peso presente en el campo sino de acuerdo con VEDY (1972) un múltiplo de dicho peso, con el fin de intensificar los fenómenos. Este detalle es fundamental en nuestro caso ya que, en el clima mediterráneo, la cantidad de fôrna presente especialmente en primavera-verano, es en la mayor parte de los casos insignificante.

Concretamente se utilizó un peso cuatro veces mayor al real en las muestras tomadas en primavera-verano y dos veces mayor en las de otoño-invierno.

La cantidad de agua empleada fue fija para todas las muestras en cada época (500 ml en primavera-verano y 1000 ml en otoño invierno).

La fôrna se colocó en embudos cilíndricos con placa filtrante y llave para controlar la velocidad de percolación. Después de mantenerla saturada de agua durante una noche se inició la percolación ajustándola a un ritmo de 4 a 5 gotas por minuto.

La determinación de Ca en el extracto se realizó por fotometría de llama y la de Mg por espectrofotometría de absorción atómica.

Percolación del extracto a través de la columna de suelo:

Los cilindros de suelo, una vez saturados de agua, eran colocados con una tapa de plástico perforada sujetando un filtro, en disposición de recoger el percolado.

Posteriormente se iniciaba la percolación con un ritmo máximo igual al de la obtención del extracto de fôrna y mínimo impuesto por la deficiente permeabilidad de algunos suelos.

En el percolado así obtenido se realizan las mismas determinaciones que en el extracto de la fôrna.

Los resultados se expresan en forma de E_f/P_s siendo para cada catión:

E_f = concentración en el extracto hidrosoluble de la fôrna.

P_s = concentración en el percolado del suelo.

Por otra parte uno de los factores que más directamente influyen en el valor de la razón E_f/P_s es, tal como se señaló en la introducción, la relación del contenido en la fôrna respecto a las reservas movilizables del suelo. Por esta razón se realizó paralelamente la determinación de los contenidos totales de estos cationes en la fôrna así como una estimación de los contenidos en forma movilizable en el suelo.

Con el fin de comprobar las posibles variaciones estacionales en la intensidad de estos procesos, se realizaron dos estudios; uno en primavera-verano (toma de muestras del 25 de Mayo al 28 de Junio) y otro en otoño-invierno (toma de muestras del 22 de Noviembre al 6 de Diciembre).

Para la determinación de Ca y Mg total en la forma se siguió el método propuesto por MORARD y GULLO (1970) por calcinación en mufla aumentando progresivamente la temperatura hasta 500° C y posteriormente solubilización de las cenizas, sucesivamente con H₂O₂ de 110 volúmenes, CIH concentrado y CIH 1/10.

La estimación de las reservas movilizables de Ca y Mg en el suelo se realizó, siguiendo las indicaciones de DUCHAUFOR (1965), valorando la fracción soluble en CIH 2N.

RESULTADOS

Se expresan en las dos Tablas que siguen:

TABLA I

Valores del cociente E_f/P_s

Muestra	PRIMAVERA-VERANO		OTOÑO-INVIERNO	
	Ca	Mg	Ca	Mg
1	0,057	0,309	0,091	0,710
2	0,571	0,692	0,500	1,666
3	0,080	0,177	0,111	0,200
4	0,316	0,680	0,666	0,666
5	0,053	0,035	0,286	0,411
6	0,174	0,491	0,500	0,800
7	0,105	0,347	0,400	0,600
8	0,250	0,239	0,777	2,000
9	0,042	0,024	0,750	0,909
10	0,200	0,731	0,400	3,333
11	0,250	0,111	0,500	1,600
12	1,143	1,608	2,000	1,400
13	1,000	4,470	1,500	3,000
14	1,143	4,125	1,000	4,588

TABLA II

Valores del cociente C_{tf}/R_{ms}

Muestra	PRIMAVERA-VERANO		OTOÑO-INVIERNO	
	Ca	Mg	Ca	Mg
1	0,0001	0,0000	0,0002	0,0001
2	0,0269	0,0071	0,0293	0,0244
3	0,0037	0,0023	0,0115	0,0042
4	0,0676	0,0048	0,0151	0,0067
5	0,0090	0,0007	0,0501	0,0057
6	0,0228	0,0051	0,0224	0,0148
7	0,0093	0,0028	0,0113	0,0083
8	0,0328	0,0030	0,0457	0,0208
9	0,0135	0,0011	0,0452	0,0133
10	0,0095	0,0038	0,0338	0,0203
11	0,0217	0,0060	0,0510	0,0453
12	0,0148	0,0069	0,0799	0,0227
13	0,0027	0,0023	0,0030	0,0048
14	0,0520	0,0312	0,1916	0,1297

DISCUSION

En una primera visión de los resultados (Tabla I) llama la atención el comportamiento de las tres últimas muestras. En efecto, es en ellas en las únicas en que se manifiesta un predominio neto de la "movilización biológica" mientras que en las 11 primeras se presenta una liberación por el suelo, es decir, predomina la "movilización química".

Las tres últimas tienen una característica en común, proceden del sector occidental del Sistema Central mientras las once primeras proceden del sector oriental, por tanto se decidió no tenerlas en cuenta al estudiar la posible correlación entre E_f/P_s y C_{tf}/R_{ms} . Tanto en primavera-verano como en otoño-invierno se encuentra correlación positiva entre ambos cocientes para las once primeras muestras, siendo los coeficientes de correlación muy próximos, lo cual parece indicar una gran semejanza en la dinámica de ambos elementos.

Comparando los valores de E_f/P_s relativos a los dos períodos estudiados destaca que, en general, son más elevados en otoño-invierno, como era previsible teniendo en cuenta la mayor cantidad de fôrna presente en esta época y la ausencia de un lavado intenso previo, debido a la escasez de precipitaciones en la estación precedente.

Centrando la atención en los resultados de otoño-invierno en que estos fenómenos muestran mayor intensidad podemos observar que

para el calcio, los valores más elevados de E_f/P_s corresponden entre las 11 primeras muestras a los n.º 2, 4, 8 y 11 (como en primavera-verano) a los que hay que añadir los n.º 6 y 9. En correspondencia con el notable incremento (respecto a primavera-verano) en la muestra 8, se encuentra otro más intenso incluso para la 9, perteneciente a un bosque de *Quercus petraea*. Teniendo presente que la n.º 12 es entre las tres últimas, la única que también presenta un incremento sensible en esta época, cabe pensar que en los robles, la liberación del Ca por las hojas en forma hidrosoluble, es particularmente rápida. También en la fôrna del sabinar (muestra 6) la proporción inicial de Ca hidrosoluble es elevada. El magnesio, también en esta época, presenta un comportamiento parecido al del Ca aunque con valores de E_f/P_s generalmente más elevados.

El final del otoño es la época más adecuada para estudiar la dinámica del Ca y Mg mediante la metodología aplicada en este estudio. En ambas épocas del año la dinámica de Ca y Mg son muy similares entre sí.

Las diferencias entre comunidades vegetales diferentes, en un área con macroclima semejante (sectores oriental u occidental) no parecen significativas; sólo como simple tendencia, cabe observar una mayor eficacia movilizadora en las comunidades de fagáceas así como en aquellas que incluyen una elevada proporción de gramíneas o papilionáceas. Sin embargo se observa una movilización biológica más intensa en los ecosistemas del sector occidental, cuya diferencia más acusada respecto a la Sierra de Guadarrama es la mayor oceanidad del clima.

RESUMEN

Se realiza un estudio de la dinámica del calcio y del magnesio hidrosolubles de la fôrna, en los horizontes superficiales del suelo, empleando columnas experimentales en el laboratorio. La mayor eficacia en cuanto a movilización biológica se manifiesta: 1) en las muestras procedentes de zonas menos continentales; 2) en las muestras tomadas a finales de otoño; 3) en las muestras procedentes de comunidades en las que fagáceas, gramíneas y papilionáceas dominan cuantitativamente en biomasa.

BIBLIOGRAFIA

- DENAEYER DE SMET, S. 1966. Bull. Soc. Roy. Bot. de Belgique. 99: 345-375.
- DUCHAUFOUR, Ph. 1965. Précis de Pédologie (2.º edition) Masson & Cie, Editeurs, París.
- JUSTE, Ch. 1965. Contribution à l'étude de la dynamique de l'aluminium dans les sols acides du sud-ouest atlantique: application à leur mise en valeur. These Ing. Doc., Nancy I.N.R.A.
- MORARD, P. et GULLO, J. L. 1970. Ann. Agron. 21 (2): 229-236.
- SMIRNOVA, K. M. & SUKHANOVA, N. P. 1964. Soviet Soil Sci. 10: 1053-1062.
- VEDY, J. Cl. 1972. Bull. de L'E.N.S.A.I.A. de Nancy, 14:1.



ELECTROMELIORATION OF SALINE-ALKALI SOILS - A REVIEW

By

L. L. SOMANI

ELECTROMEJORA DE SUELOS SALINOS-ALCALINOS

Un examen crítico de los resultados de varios experimentos de campo y laboratorio han mostrado que la electromejora puede usarse eficazmente para corregir suelos sódicos salinos y acelerar también el proceso de corrección.

La electromejora aumenta el desprendimiento del calcio frente a los precipitados de carbonatos y sulfatos y favorece el desplazamiento de sodio cambiante y traslación y la subsecuente de sodio a través del colado.

Las propiedades físicas del suelo como la infiltración y agregados de agua estable también aumenta con corriente eléctrica.

El tiempo y la cantidad de agua requerida se reduce considerablemente comparada con el uso de la corrección convencional.

El método ofrece una alternativa económica a la corrección química pero la técnica ha sido modificada y perfeccionada para aplicación práctica en campos.

INTRODUCTION

Saline-sodic soils are known for their deteriorated physical condition due to high content of exchangeable sodium, a characteristic feature of these soils. Reduction of pH and displacement of sodium using gypsum, sulphur, sulphuric acid, pyrites, etc. is not only expensive but is also time consuming (Agarwal *et al.*, 1979; Somani, 1981, 1984; Mehta, 1983). Moreover, leaching of soluble salt is a severe problem in these soils because of very low infiltration and water scarcity (Agarwal *et al.*, 1979; Somani and Saxena, 1982; Mehta, 1983). Electromelioration is considered to be the improvement of physical and chemical properties of saline-sodic soils by treatment with electric current. A number of laboratory and field investigations have been carried out in different parts of the world to reclaim such soils by electromelioration. An attempt has been made in this article to review various facets of this technique.

LABORATORY STUDIES ON ELECTROMELIORATION

Electrolysis of soil monoliths decreased the salt content by 0.93-2.28 per cent and was most effective with a current of 0.2 amp and at maxi-

mum soil moisture capacity (Voznesenski *et al.*, 1956). In another study, a constant electric current improved soda-sulphate solonchaks, a meadow heavy loamy solonchak, solonetz-solonchaks, a steppe solonetz and a pale chestnut solonetzic soil almost as such as did application of gypsum and washing (Vadyunina, 1966). Bondarenko (1976) found that passing the water through a magnetic field before flooding approximately doubled the amount of salts washed out of soil with chloride-sulphate salinity in the Hungary steppe.

El-Lakani (1979) carried out experiments with Khvalynsk clay with monoliths of 15 x 15 x 10 cm through which a DC current was passed. The soil was flushed under a constant hydrostatic head equivalent to a 5 cm water column. Simultaneous flushing and passage of an electric current resulted in substantial desalinization of the clay. The soil was found to be completely desalinized with respect to Cl^- and HCO_3^- over its entire profile. The same pattern was observed for Na^+ and K^+ . However, the clay still contained fairly large amounts of SO_4^{2-} and Ca^{++} ions. Vadyunina *et al.*, (1975) observed that the reclamative effect of electric current application at a density of 0.01 mA/cm² has been found to be equal to that of 30 t/ha of gypsum or 10 and 20 t/ha of H_2SO_4 , though it was not possible to reclaim the soil completely. Desalinization dealcalization and neutralization of alkali as well as improvement of the physical properties of soils occurred in a 10-20 cm soil layer, *i.e.* to the depth of penetration of the chemical amendment. At high density of the electric current ($i = 0.1$ and 0.5 mA/cm²) complete desalinization and dealcalization of soils have been achieved (Table I). Soil pH decreased from 10.0 to 8.5, soil aggregation significantly improved and that of water percolation through the soil increased. The results of water percolation through the soil increased. The results of these investigations have been used in field experiments on electromelioration.

FIELD APPLICATION OF ELECTROMELIORATION

The technique of electromelioration has also been successfully used under field conditions, Mzareulova (1963) arranged the electrodes horizontally or vertically to reclaim the solonchaks of the Alazansk valley. Under constant current, exchangeable sodium decreased from 27-31 to 9-15 me, alkalinity of the soil solution decreased from 0.31 to 0.05 per cent, dispersivity from 79 to 10 per cent, amount of water-stable aggregates > 0.25 mm increased from 0.3 to 70 per cent, filtration coefficient increased from 10^{-8} to 10^{-4} . Effectiveness of electromelioration of solonchaks depended on lowering resistance of the soil to a minimum and on applying current of optimum density.

The B horizon of a soda-sulphate meadow-chernozem solonchak-solonetz (Tambov region) was bathed with water in electrolytic vats and direct or alternating current was passed through at a current density of 2 mA/cm² (El-Lakani, 1977). The amount of salts remaining in the 0-25 cm layer after passage of water and use of DC was 0.07 to 0.15 per cent following the use of steel electrodes, 0.4 to 0.9 per cent with iron

TABLE I

The effect of electrical and other treatments to the soil on pH, ESP and infiltration rate

Treatments*	pH	ESP	pH	ESP	Average infiltration rate (mm/day)
	0-10 cm		10-30 cm		
Control	9.74	49.2	9.95	82.6	4.4
Gypsum (30 t/ha)	8.90	19.2	9.72	62.2	13.0
H ₂ SO ₄ (10 t/ha)	9.46	31.1	9.88	79.3	10.0
H ₂ SO ₄ (20 t/ha)	7.56	2.9	9.11	39.4	13.0
Electric current for 3000 hours (0.01 mA/cm ²)	8.68	10.3	9.85	78.5	14.4
Electric current for 3000 hours (0.10 mA/cm ²)	8.20	1.7	8.26	1.2	57.0
Electric current for 100 hours (0.50 mA/cm ²)	7.98	1.0	8.09	1.2	86.4
* Original soil	10.0	72.8	10.09	89.9	

Source: Vadyunina *et al.* (1975)

electrodes and 1.19 per cent in the control (no current). For effective reclamation use of DC to give considerable desalinization, followed by a period of AC and finally DC again is recommended.

ECONOMIC FEASIBILITY OF ELECTROMELIORATION

In a field trial in Montana where saline boggy land that produced no crop for 19 years had been improved to such an extent that a heavy growth of grasses and sweet clover covered the area 50 days later, although the current had been applied for a short time involving an expense of six dollars per hectare only. The concentration of sodium removed in the leaching water in the drainage rose from 1500 ppm to 37,000 ppm (Kovda *et al.*, 1973).

Buromskii (1978) from his field experiments, concluded that electrical desalination is possible on chloride-sulphate soils with an initial salt content of 0.25-0.30 per cent of chloride ion to a depth of 1 m, provided the filtration properties are satisfactory, at an electricity consumption of 6,000 - 10,000 kwh/ha and a water consumption for flushing of upto 10,000 m³/ha over a period of 1 - 1½ month. This approximately halves the time taken for the process and the water consumption with the water soluble toxic salts settling at a greater depth, than with conventional desalination methods. The average additional yield obtained over 3 year was 0.1 t/ha. This shows that the technique holds economic feasibility in so far as it involves very low cost.

MECHANISM OF ELECTROMELIORATION

Aibasov (1965) studied the effect of the electrical current on intensity of osmosis in salt affected soils. Soil samples were treated with water containing 0, 100 or 200 mg/l calcium and were subjected to continuous current of 128, 320 and 640 mA. In each samples, electro-osmosis accelerated the displacement of exchangeable sodium. The highest flux density produced the highest acceleration of osmosis. Treatment with water containing calcium reduced the degree of sodium exchange but increased the amount of available calcium in the soil. Increasing calcium level from 100 to 200 mg/l was not beneficial. Gibbs (1966) found that electricity encouraged movements and promoted desirable reactions viz., and increased amount of calcium cations were released from precipitated carbonates. However, leaching and drainage are considered major factors in carrying the undesirable materials away.

Vadyunina (1966) observed formation of mechanically stable micro-aggregates and of aggregates stable to water into the soil following passage of constant electric current through solonetz. Passage of a current with a density of 2 mA/cm² caused sharp drop in silt content in the soil and improved its microaggregate composition (El-Lakani, 1979).

Chemical analysis of soils following pasage of electric current (0.1 to 0.2 mA/cm²) showed that exchangeable Na⁺, CO₃⁼, HCO₃⁻ and pH were reduced, while exchangeable Ca⁺⁺ and Mg⁺⁺ were increased by electrical treatment during leaching especially at the higher current density (El-Sawaby, 1977). Application of direct electrical current (0.001 or 0.10 mA/cm²) markedly increased permeability and thus salt removal in leachates (El-sawaby and Vadyunina, 1977). They further reported that the chemical composition of the leachate was also modified by the treatment, sodium being more effectively leached and calcium being poorly leached when the electric current was applied. Passage of electric current also increased the solubility of gypsum to provide additional calcium to replace sodium from the exchange complex (El-lakani, 1979). Electromelioration also decreased the dispersivity and thus promoted faster leaching of undesirable salts (Mzareulova, 1963).

CONCLUSIONS

- i. Laboratory and field investigations have shown that electromelioration can be employed as an important means to accelerate the process of reclamation of saline-sodic soils.
- ii. In effectiveness, electromelioration compares well with the traditional methods of using gypsum and sulphuric acid as amendments.
- iii. Electromelioration provides a low cost technology in so far as the chemical amendments like gypsum, sulphur, pyrites, sulphuric acid etc. are getting scarce and costlier.
- iv. There is an urgent need to undertake long term field trials to investigate the interactive role of amendments and electromelioration in the reclamation of saline-sodic soils.
- v. The practical utility of electromelioration could be greatly enhanced if solar energy, which is in plenty in arid and semi-arid regions, could be effectively transformed to electric energy under field conditions.

SUMMARY

A critical examination of the results of several laboratory and field experiments show that electromelioration could be effectively used to reclaim saline sodic soils besides accelerating the process of reclamation. Electromelioration increases the release of calcium from precipitated carbonates and sulphates, and promotes the displacement of exchangeable sodium and the subsequent removal of sodium through leaching. Soil physical properties like infiltration and water stable aggregates also increase following passage of electric current. The time and quantum water required for reclamation is considerably reduced as compared to the use of conventional amendments. The method offers an economically viable alternative to chemical amendments but the technique has to be evolved and perfected for practical field application.

REFERENCES

- AGARWAL, R. R.; YADAV, J. S. P. and GUPTA, R. N. (1979). *Saline and alkali soils of India*. Indian Council of Agricultural Research, New Delhi, p. 286.
- AIBASOV, E. B. (1965). Acceleration of the displacement of exchangeable Na from saline soils by electro-osmosis with addition of Ca. *Vestn. S-Kh. Nauki Alma-Ata.*, SSR 8 (3): 75-78.
- BONDARENKO, N. F.; ROKHINSON, E. E.; ZAK, E. Z. and BOGOSLOVSKY, B. V. (1976). The use of magnetic fields for desalinizing land by washing. *Vestn. S-Kh. Nauki. Mosc.* 12: 75-78.
- BUROMSKII, V. I. (1978). Electric desalination - an effective means of soil improvement. *Nauchno. Tech. Byull Elek S-Kh VN II*, 1 (34): 54-56.
- EL-LAKANI, A. A. (1977). Influence of electrode materials and use of alternative polarity on the effectiveness of electric reclamation of solonchets. *Mosc. Univ. Soil Sci. Bull.* 32: 30-55.
- EL-LAKANI, A. A. (1979). Ameliorative effect of DC current on khavalynisk clays. *Mosc. Univ. Soil Sci. Bull.* 33: 14-17.
- EL-SAWABY, M. S. (1977). Electromelioration of soda saline soils of Egypt. I-Effect of direct electric current on the chemical properties of Ferhash soils. *Agric. Res. Rev.* 55 (4): 29-35.
- EL-SAWABY, M. S. and VADYUNINA, A. V. (1977). Effect of direct electric current on the effectiveness of leaching saline soils. *Agric. Res. Rev.* 55 (4): 21-28.
- GIBBS, H. J. (1966). Research on electroreclamation of saline alkali soils. *Trans. ASAE* 9: 164-169.
- KOVDA, V. A.; BERG, C. V. D.; HAGAN, R. M. (Ed.) (1973). Irrigation, drainage and salinity. An international source book. *Hutchinson FAO/UNESCO*, London, p. 510.
- MEHTA, K. K. (1983). *Reclamation of alkali soils in India*. Oxford & IBH Publishing Co., New Delhi; p. 280.
- MZAREULOVA, D. K. (1963). Effectiveness of the amelioration of solonchets in relation to the distance between electrodes. *Tr. gruz. nauchno-issled Inst. Gidrotekh. Melior.*, 22: 241-238.
- SOMANI, L. L. (1981). Reclamation of saline alkali soil using organic materials and inorganic amendments. *Agrokemia Es Talajtan* 30 : 333-350.
- SOMANI, L. L. (1984). Use of low grade pyrite as an amendment for alkali soils and to improve soil fertility. *Fertilizer News* 29 (7): 13-27.
- SOMANI, L. L. and SAXENA, S. N. (1982). Role of some sources of organic materials alone and in conjunction with inorganic amendments in reclamation of a typical calcareous saline-alkali soil of Rajasthan. *Agrochimica*. 26 : 55-63.
- VADYUNINA, A. E. (1966). The question of electrical reclamation of saline soils. *Vestn. Mosk. Univ. Ser. Biol. Pochvoved*, 4 : 89-100.
- VADYUNINA, A. F., EL-SAWABY, M. S. H. and EL-KOUNI (1975). Chemical and electrical methods for reclaiming soda saline soils. *Int. Symp. New Develop. Field Salt Affected Soils*, Cairo, 1972, p. 505-512.
- VOZNESENSKII, A. S.; KARSAEV, A. G. and MZAREULOVA, D. K. (1956). Electrolysis of soil solutions as a means of reclaiming saline soils. *Tr. gruz. nauchno-issled Inst. Gidrotekh Melior*, 4 (17): 91-97.

Recibido para publicación: 3-IX-85.

**EFFECTOS DE LA DEFORESTACION SOBRE LOS SUELOS DE LA
COMARCA DE ANTEQUERA (MALAGA) III. ANALISIS Y
EVALUACION**

Por

R. DELGADO CALVO-FLORES*; G. BARCELO** y J. PARRAGA

SUMMARY

**THE EFFECTS OF DEFORESTATION ON THE SOILS FROM ANTEQUERA
REGION, III. ANALYSIS AND EVALUATION.**

The influence of deforestation on soils has been studied in Antequera region (Málaga, Spain).

The disappearance of the forest has caused the following effects: a) the erosion of some soils and the thickening of others, b) the occurrence of hydromorphic and vertic characters, c) the decrease of the organic matter content (about 300.000 kg/Ha), d) the loss of the cation exchange capacity (about 400.000 eq./Ha) and e) the decrease of available water (about 140.000 l./Ha).

The deforested soils have undergone water erosion and physical and biological degradation.

INTRODUCCION

La eliminación del bosque tiene sus repercusiones sobre el suelo, generalmente de índole degradativa. Para el análisis sistemático de éstas se pueden considerar ordenadamente los efectos sobre cada una de las acciones de la vegetación como factor formador del suelo (Gaucher, 1981):

1) Pantalla frente a la radiación solar (Braun Blanquet, 1979, Hunt, 1972, Dajoz, 1979). La deforestación incrementa las variaciones de pedotemperatura (Pennypaker et al, 1975) afectando negativamente a la población microbiana y demás organismos, favoreciendo el encostramiento del suelo con sales solubles, la rubefacción, etc.

2) Protección frente a la erosión. Esta disminuye drásticamente (Lal, 1984).

3) Alteración de la roca. Con la eliminación de la vegetación disminuye la meteorización bioquímica y biofísica, reduciéndose la velocidad de edafogénesis (Birkeland, 1974, Buol et al, 1973).

4) Balance hídrico. Aumenta la fracción del agua escurrida superficialmente y disminuye la velocidad de infiltración (Wood, 1977), a

* Dpto. de Geología, Facultad de Ciencias, Universidad de Málaga.

** Dpto. de Edafología, Facultad de Farmacia, Universidad de Granada.

la vez que disminuye la evapotranspiración (McColl, 1977) y la lluvia por condensación de nubes bajas, ("ocultas"). El resultado neto es una reducción de la fracción infiltrada.

5) Perfil húmico y ciclos biogeoquímicos. En áreas forestales el perfil húmico está bien desarrollado, presentando gran número de horizontes, biomasa elevada y ciclos biogeoquímicos eficaces (Pritchett, 1977) que han sido estudiados en bosques de encinas —que es el caso en estudio— por Escarré et al., (1984). Esto es una prueba del considerable poder de autorregulación de la biosfera que asegura la conservación de los ecosistemas y la constancia de las concentraciones de los diversos elementos presentes en cada medio (Ramade, 1977).

La deforestación y roturación influye sobre el perfil húmico acentuando los procesos de mineralización frente a los de humificación y acumulación. Si a esto unimos que el incremento en los procesos erosivos afectará a aquellos materiales ligeros, ricos en compuestos orgánicos, el efecto neto sobre el perfil húmico será de reducción en espesor y contenido de carbono y demás elementos. En suma, los ciclos internos de materia del suelo decrecen y dominan las transferencias, esencialmente laterales (erosión mecánica) (Lelong et al., 1984). La pérdida de materia orgánica afecta también a las propiedades físicas del suelo como son porosidad y la densidad aparente (Wood, 1977).

El término degradación de suelos también requiere algún comentario antes de pasar a la materia concreta del estudio.

Según la FAO y el PNUMA (1980) la degradación de un suelo es un proceso que rebaja su capacidad actual y potencial para producir (cuantitativamente y/o cualitativamente) bienes o servicios y se considera en sus aspectos dinámicos, es decir la velocidad con que se produce. Un estado degradativo alcanzado por un suelo a través de la historia no se considera degradación, por ser un concepto estático. Dicho en otros términos, para estos autores se parte de los suelos que existen en la actualidad y se miden los procesos de degradación que se están produciendo o los que se preven para el futuro. Las categorías o clases que se establecen en los procesos de degradación son seis: I) Erosión hídrica, II) Erosión eólica, III) Exceso de sales, IV) Degradación química, V) Degradación física y VI) Degradación biológica.

El objeto del presente estudio es analizar, y en la medida posible evaluar, las alteraciones que la deforestación ha generado en los suelos de la comarca de Antequera; concretamente en las cercanías del pueblo de Mollina. Para ello en trabajos anteriores, se han estudiado las características generales del área y cuatro perfiles de suelos, desde el punto de vista morfológico, analítico y genético (Barceló et al., 1985 y Párraga et al., 1985).

El interés de este trabajo radica en que una de las causas de la desertificación que sufre el SE de España, es la eliminación de la vegetación boscosa, condicionante de una pérdida notable del recurso suelo y de modificaciones climáticas. En concreto, la provincia de Málaga tiene un 68% de su superficie afectada por este proceso (ICONA, 1984).

MATERIAL Y METODOS

El material empleado son los datos de cuatro perfiles de suelos (dos de bosque y dos de cultivo) objeto de trabajos anteriores ya citados.

La metodología utilizada, es esencialmente interpretativa, destacando la aplicación de las clases de degradación de FAO y PNUMA (1980).

ANALISIS COMPARADO DE LOS SUELOS DE BOSQUE Y CULTIVO

— *Caracteres morfológicos.*

Los principales caracteres morfológicos se exponen gráficamente en la Fig. 1. Destacan los siguientes hechos:

a) Los suelos son más gruesos a medida que se desciende en la ladera, debido al movimiento de materiales y a la mayor actividad edafológica de las áreas bajas, al ser más húmedas. Las variaciones en el espesor no pueden atribuirse a un factor único e independiente, ya que si bien en las zonas deforestadas la pérdida de vegetación habrá catalizado el arrastre de material, adelgazando el suelo en unas zonas y engrosándolos en otras, el relieve o el tipo de roca también deben ser tenidos en cuenta. Los perfiles n° 3 y 4, han pertenecido siempre a áreas más erosivas y de espesor de "solum" más delgado que el resto; en el caso del perfil cuatro, existe otro limitante del desarrollo, que es la compacidad de la roca.

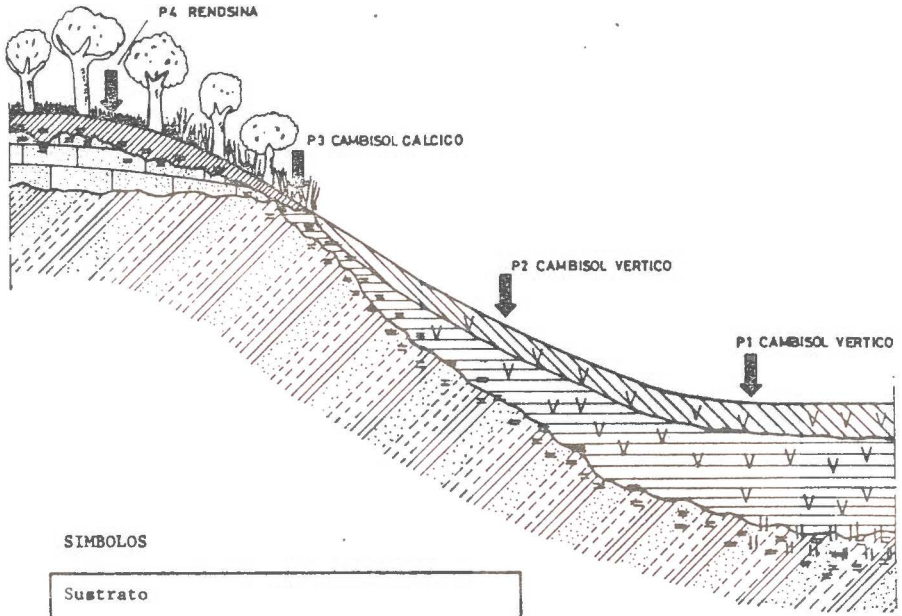
La reducción en el espesor del suelo disminuye la potencialidad agrícola del mismo, al retener menos agua, poseer menor masa del suelo para el enraizamiento (hecho muy grave en el caso de que se pretendiera implantar cultivos arbóreos), etc. Por otra parte, otras acciones indirectamente derivadas de la falta de espesor afectan a su capacidad agrícola, entre ellas se podría citar la puesta en superficie por el arado de fragmentos de roca que engruesan la textura del suelo y aumente el contenido de carbonatos, con el riesgo de clorosis caliza.

b) La aparición de gleización en las áreas más bajas, se debe a la naturaleza impermeable de la roca y hasta del suelo (bastante arcilloso) y a la recepción de agua de escorrentía y de drenaje lateral.

En el caso de que la vegetación virgen estuviera más desarrollada, los encharcamientos serían menores, al aumentar la capacidad de retención de agua de las laderas.

El encharcamiento profundo no va a tener prácticamente importancia agronómica para los cultivos usuales de cereales, forraje, etc.. ya que se precisarían años muy lluviosos, no propios de la zona, para que se llegaran a afectar. En plantas de mayor porte y enraizamiento, la situación puede ser más grave.

c) Las acumulaciones de carbonatos autigénicos del suelo, son más profundas a medida que se desciende en la ladera; este hecho, aparentemente opuesto a lo que cabría esperar, creemos se puede interpretar si se considera que las acumulaciones y encostramientos tienen un comportamiento no actual. Con el rebajamiento relativamente rápido del



SIMBOLOS

Sustrato	
	Calcarenita
	Margas, arcillitas y areniscas
	Horizonte Ah*
	Horizonte Ap
	Horizonte Bw*
	Acumulación de CO_3Ca^* (localmente encostramientos)
	Gleizaciones*
	Caracteres vérticos

* Símbolos adaptados de Duchaufour (1975)

FIG. 1.—Rasgos morfológicos de los perfiles estudiados

relieve catalizado por la deforestación, la erosión de las zonas altas tenderá a exhumar las acumulaciones de carbonatos existentes y el relleno de las bajas a enterrarlos.

d) Los suelos de cultivo tienen caracteres vérticos, atribuibles en última instancia a la textura de la roca madre.

—*Características analíticas.*

Las principales características analíticas de los suelos se han representado frente a la profundidad en las figuras 2, 3, 4 y 5. Comenzando por el contenido de arcilla, se pueden observar algunos hechos interesantes:

1) Se marca una diferencia neta entre la forma de las gráficas de los suelos 1, 2 y 3 y el 4, consecuencia de que la tipología de los primeros, es análoga y bastante diferente al último. El horizonte Bw de los primeros,

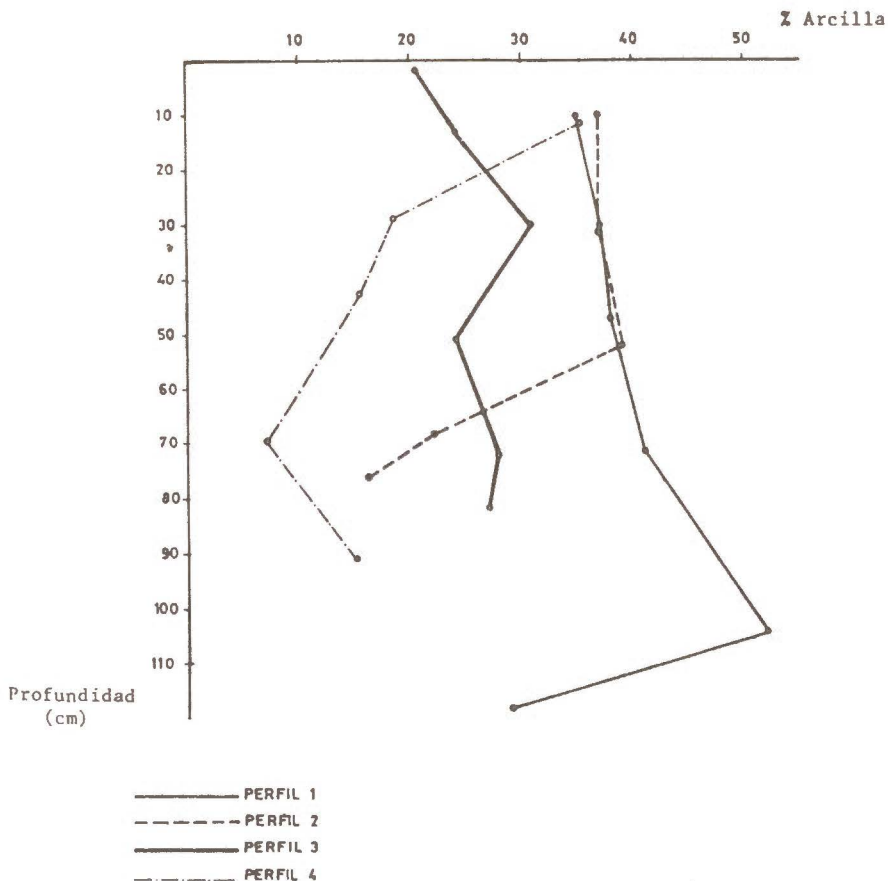


FIG. 2.—Contenido de arcilla

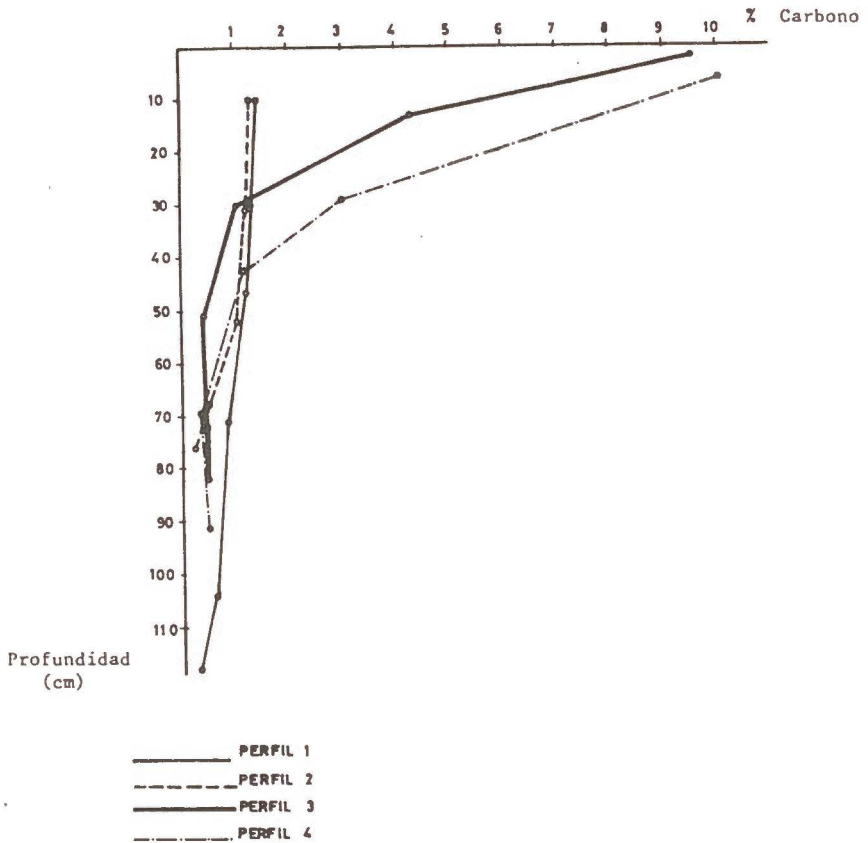


FIG. 3.—Contenido de carbono orgánico

se denota por una tendencia al aumento en profundidad del contenido de arcilla y posterior descenso. En la Rendzina (suelo n° 4) los máximos contenidos se encuentran en los horizontes superficiales.

2) A nivel de conjunto de los horizontes de suelo, el contenido de arcilla disminuye al elevarse en la colina, es decir, del perfil 1 al 4. Ello se debe a las mismas causas y factores aducidos para justificar la pérdida de espesor. La zona del suelo donde se hacen más patentes estas tendencias es en la de meteorización profunda (Bw) la cual, además es más somera desde el suelo 1 al 3, paralelamente a la pérdida de espesor. El horizonte Ah del perfil n° 4 se desvía de las tendencias expresadas debido a su gran evolución, e incluso a la posibilidad de enriquecimiento en polvo atmosférico, para el que los bosques son verdaderos parapeos

que ocasionan su detención y caída. Un caso parecido describe Barth (1980) al comparar un suelo bajo bosque de pinos con los de vegetación de matorral.

Las variaciones en el contenido de arcilla de los diferentes suelos tienen unas consecuencias agronómicas complejas, ya que, si bien al aumentar el porcentaje de fracción fina aumenta la cantidad de agua retenida y el grado de la estructura, favoreciendo la calidad del suelo como soporte de las plantas, superados unos contenidos, el efecto es contrario, porque el suelo se vuelve menos trabajable, se apelmaza con facilidad, el punto de marchitamiento alcanza contenidos muy importantes de agua, aparecen caracteres vérticos, la impermeabilidad crece, creándose capas colgadas de agua, etc. (Henin, et al., 1972). Los suelos claramente deforestados, 1 y 2, manifiestan casi todos estos caracteres perjudiciales para el uso agrícola.

En la figura 3 se ha representado el contenido de carbono en función de la profundidad. Destaca, como hecho más notable, las divergencias tan acusadas a nivel de la zona superficial, entre los suelos afectados por la vegetación arbórea (nºs 3 y 4) y los deforestados, (nºs 1 y 2). La mayor cantidad de carbono —por ejemplo, a 10 cms de profundidad entre 5 y 10% frente al 1,4%— se relaciona con un aporte de restos orgánicos al suelo muy superior en el primer grupo y una edafoclina más contrastado, y por ende mineralizador de la fase orgánica, en el segundo.

Aunque existen analogías en el contenido de carbono de los suelos dentro de cada grupo, el perfil más conservado (4) tiene una zona superficial orgánica de 40 cms, de espesor y el del borde del bosque (nº 3) sólo 30 cms. A partir de estas profundidades el contenido de carbono de los cuatro suelos se iguala.

La pérdida de materia orgánica de los suelos acarrea una disminución del valor agrícola de los mismos, al retener y disponer de menos agua, disminuir la capacidad de cambio, perder una estructura, etc.

Los contenidos de arcilla y carbono orgánico tienen su reflejo real en los valores del agua útil. En efecto, los 40 cms. superiores de los suelos son capaces de ceder a las plantas las siguientes cantidades de agua: suelo 1: 45,8 mm; suelo 2: 44,6 mm; suelo 3: 64,2 mm suelo 4: 54,4 mm. Los dos primeros son más arcillosos y pobres en carbono y los últimos al contrario. Los menores valores del suelo nº 4, respecto al nº 3, se debe al elevado contenido de grava.

El contenido de carbonato equivalente (Fig 4) corrobora numericamente lo que ya fue expresado a partir del estudio de los rasgos morfológicos: los suelos son más carbonatados al ascender en la colina.

La importancia agronómica de un contenido de carbonatos muy elevado, es grande, sobre todo en aquellos suelos cuya presión parcial de CO_2 sea pequeña, ya que basifican el pH. Ello impide la asimilación de nutrientes como hierro, boro, fosfatos, oligoelementos, etc. al estar en formas insolubles (Berger, 1965; Russell, 1968; Buckman y Brady, 1977 y otros autores). En estos suelos, cuyo pH es cercano a 8, es probable que existan problemas agronómicos de esta índole, los cuales no

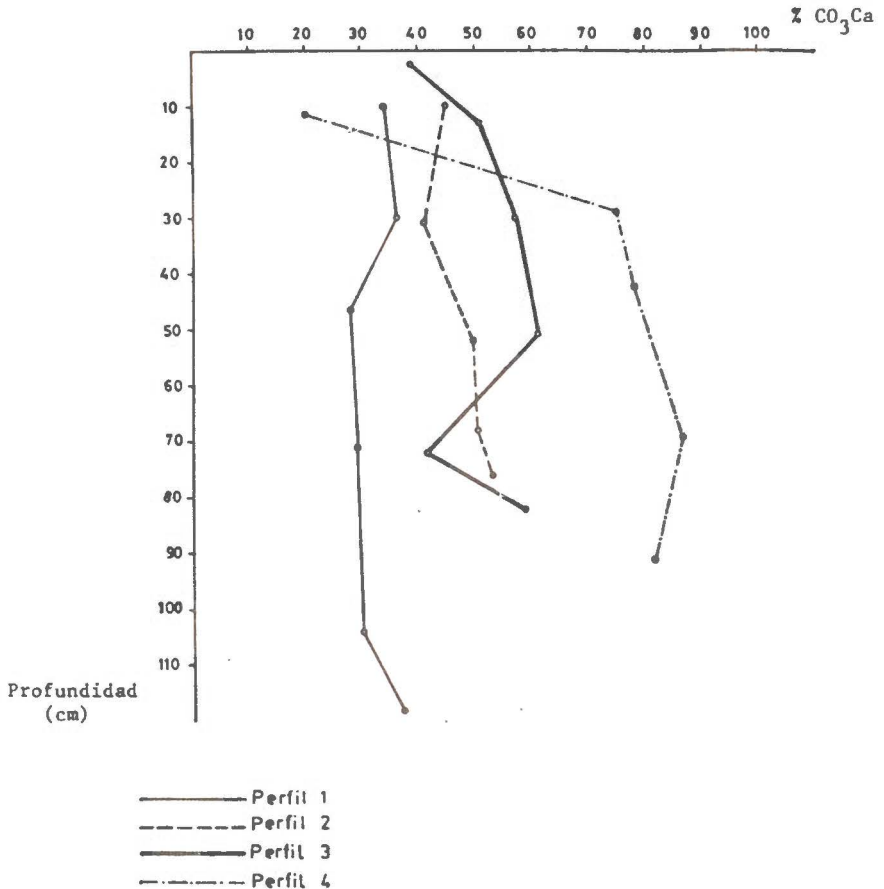


FIG. 4.—Contenido de carbonato cálcico equivalente

están particularmente acusados en los suelos altos, porque si bien aumenta el contenido de carbonatos el pH no crece, al incrementarse paralelamente la fracción húmica y probablemente la presión de CO₂, por existir mayor actividad biológica.

Las tendencias manifestadas por la capacidad de cambio (Fig 5) son intermedias entre las que se describieron para la arcilla y la materia orgánica, principales responsables del valor del complejo de cambio. En los horizontes superiores (profundidad inferior a 30 cms) donde la materia orgánica alcanza contenidos importantes, la mayor capacidad de cambio se encuentra en los suelos 3 y 4, respecto a 1 y 2, al contrario de lo que ocurre en la zona inferior del suelo, al ser la arcilla el principal responsable del complejo de cambio. Desde el punto de vista agronómico, este resultado es importante, ya que en los 30 centímetros se produce el enraizamiento de la mayoría de los cultivos.

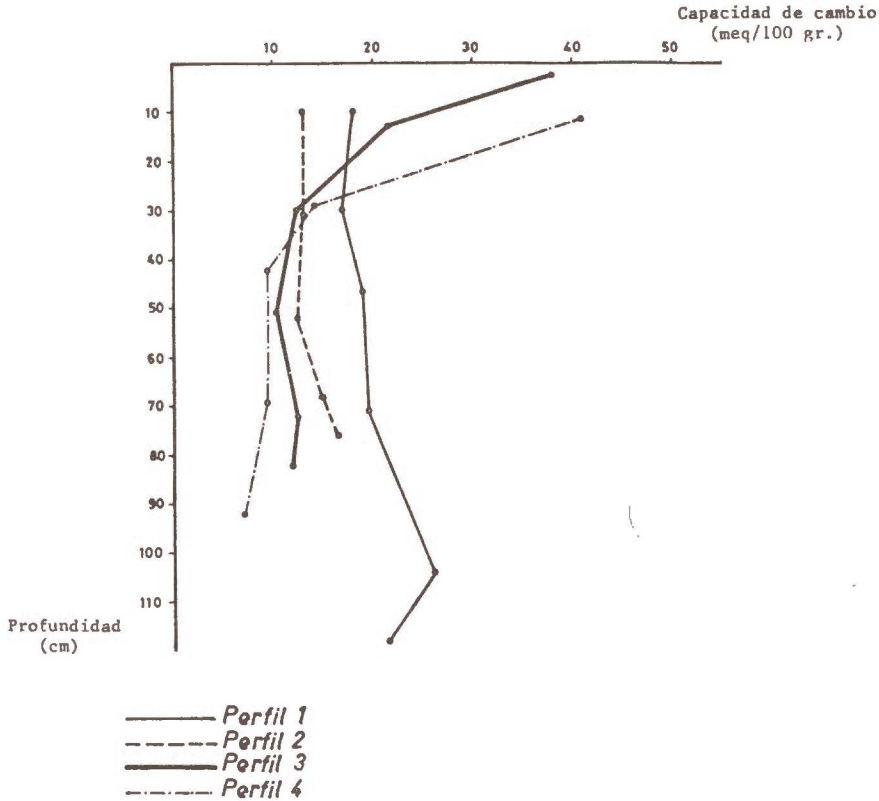


FIG. 5.—Capacidad de cambio de cationes.

CLASIFICACION Y EVALUACION DE LOS PROCESOS DEGRADATIVOS

Los suelos estudiados han sufrido y sufren procesos de degradación clasificables claramente en las clases, I, V y VI (FAO y PNUMA, 1980). Además también podrían reconocerse los de la clase IV, aunque este punto es discutible.

La evaluación de las velocidades de degradación (degradación, "s. stricto" para F. A. O. —PNUMA) no se realizará, sino que en el mejor de los casos se contabilizará el resultado total del proceso degradativo (concepto estático de la degradación).

— Erosión del suelo por el agua.

La pérdida de espesor de los suelos de la colina, con respecto al llano, está causada esencialmente por la erosión hídrica. El proceso se activaría de abajo a arriba de las lomas, siendo muy activo en aquellos suelos desnudos.

No es posible evaluar la pérdida total de materia generada por la deforestación al carecer de suelo virgen (patrón) al que comparar los espesores. De los suelos de bosque, el perfil n° 3 está adelgazado, y el n° 4, aunque más protegido por la vegetación, se desarrolla sobre un material geológico que "a priori" limitará su potencia.

— *Degradación física.*

Afecta esencialmente a los suelos totalmente deforestados (n°s 1 y 2). En esta categoría se incluirá la de pérdida de estructura ligada a la disminución del contenido de materia orgánica —y la impermeabilización progresiva— ligado a la causa anterior y al aumento de las fracciones finas—.

— *Degradación biológica.*

Se refiere a los procesos que aumentan la velocidad de mineralización del humus y consiguientemente la disminución en su contenido. En algunos de los suelos estudiados hay un claro proceso de degradación biológica, ligado a la deforestación, ya que los perfiles bajo bosque (n°s 3 y 4) tienen mayores contenidos de carbono que los de cultivo (n°s 1 y 2).

FAO-PNUMA (1980) establecen que la evaluación de esta clase de procesos se realice en los 30 cms. superiores del suelo. El contenido de materia orgánica de ese espesor de los cuatro suelos estudiados sería: suelo 1: 2,36%; suelo 2: 2,25%; suelo 3: 7,26%; suelo 4: 15,49%. De ello se deduce que el contenido de materia orgánica del suelo degradado medio, es 2,30% y el del suelo patrón o inicial, 11, 37%.

A partir de los datos anteriores, se calcula que el proceso degradativo ha reducido el contenido de materia orgánica en un 9,07%. Traducido a kg/Ha es de 309.987 kg/Ha; se supone la densidad media de la tierra fina de 1,20 gr/cc, la densidad de las gravas 2,4 gr/cc, y el contenido medio de grava de los 30 cms. superiores del 10% (en peso).

Estos valores tan considerables permiten afirmar que el ecosistema se ha empobrecido notablemente, lo que ocurre siempre que hay un rejuvenecimiento (González Bernáldez, 1981).

— *Degradación química.*

El aumento del contenido de carbonatos de los suelos más altos podría aventurarse que es un proceso de degradación química, al implicar posibles carencias de nutrientes, aunque no encaja plenamente con la definición dada por FAO-PNUMA para la categoría IV.

— *Otros procesos de degradación.*

El suelo sufre al deforestarlo una disminución en la capacidad de cambio y en el agua útil. No se puede dudar de la importancia agronó-

mica de estos valores y sus implicaciones prácticas directas, por lo que a pesar de su carácter dependiente de los procesos anteriores, sería interesante considerar las pérdidas como debidas a procesos de degradación específicos.

La pérdida de capacidad de cambio de cationes, podría titularse "proceso de degradación físico-química del suelo" y la zona más afectada e importante sería la capa arable (de 0 - 30 cms). Los suelos estudiados tienen las siguientes capacidades de cambio en la capa arable: suelo 1: 18,2 meq/100 gr; suelo 2: 13,0 meq/100 gr; suelo 3: 21,6 meq/100 gr; suelo 4: 34,7 meq/100 gr. Considerando, como en el caso del humus, un suelo patrón de referencia que sea la media aritmética del 3 y del 4 (28, 15 meq/100 gr), la pérdida total de capacidad de cambio de cationes, ha sido de 9,95 meq/100 gr para el suelo 1 y de 15,15 meq/100 gr, para el 2. Traducido a pérdida por Ha, sería 340063 equivalentes en el suelo 1 y 517785 equivalentes en el suelo 2. Queda patente la magnitud del proceso.

La pérdida de agua útil, se podría encajar en los procesos de degradación física. Puede calcularse de forma parecida a la capacidad de cambio, aunque en este caso emplearemos los 40 primeros centímetros, en los que muestran las mayores diferencias y tienen importancia para las plantas cultivadas. Los valores ya expuestos serían 1: 45,8 mm; suelo 2: 44,6 mm; suelo 3: 64,2 mm y suelo 4: 54,41 mm. El suelo patrón inalterado (virgen) —media aritmética del 3 y el 4— tiene una agua útil de 59,3 mm, lo que supone una pérdida en el suelo 1 de 13,5 mm y en el 2 de 14,7 mm. Por hectárea son 135.000 litros y 147.000 litros respectivamente.

CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES

El siguiente estudio puede concluirse en los siguientes puntos:

1.— La deforestación ha provocado sobre los suelos importantes modificaciones. Entre ellas cabe citar: a) Adelgazamiento por erosión acelerada de los suelos de las laderas en favor de los del valle que se han engrosado; b) Aparición de gleizaciones en las áreas bajas; c) Aumento del contenido de arcilla desde los suelos de la ladera a los del llano, potenciando la aparición de caracteres vérticos; d) Disminución en el contenido de materia orgánica; e) Decrecimiento en la capacidad de cambio de cationes; f) Disminución en la cantidad de agua útil.

2.— Los suelos deforestados han sufrido, según la metodología de la FAO y el PNUMA (1980) procesos de erosión del suelo por el agua, degradación física y degradación biológica. El tipo de proceso sufrido y/o su intensidad, depende de la posición en el relieve.

3.— Las pérdidas de materia orgánica, capacidad de cambio y agua útil que han sufrido los suelos al deforestarlos, se han evaluado y estiman las siguientes cantidades por hectárea: 309.987 kg de materia orgánica; 340.063 equivalentes en el suelo del llano y en el de la ladera 517.785 equivalentes; 135.000 litros de agua útil, en el perfil de la llanura y 147.000 litros de agua útil en el suelo de la vertiente.

La demostración de la existencia de la degradación en estos suelos, no debe interpretarse como una indicación por nuestra parte de la necesidad de repoblar toda la zona estudiada, ya que el laboreo de los suelos deforestados, es la base de la economía de la comarca; más bien al contrario, puede permitir un uso más racional del recurso suelo, al suministrar datos para ubicar las manchas de bosque en los lugares adecuados.

Los suelos más degradados son los de las zonas medias-altas de las colinas, adelgazados y con pérdidas de carbono y capacidad de retención elevada; ello conduce a una pérdida de productividad notable constatada directamente por nosotros a partir del porte de los cultivos. Además, en la región no es costumbre respetar ni el pequeño bosque que ha permitido nuestro estudio y en pocos años la zona alta de la colina pierde la casi totalidad del suelo, imponiéndose el abandono de su uso. En suma, de todas estas evidencias se deriva la necesidad de reforestar las zonas medias-altas de las colinas con los innegables beneficios ganaderos, cinegéticos, madereros, etc. que ello implicaría para la comarca.

RESUMEN

Se analizan y evalúan los defectos de la deforestación sobre los suelos de la comarca de Antequera (Málaga, España).

La pérdida del bosque ha ocasionado los siguientes efectos: a) erosión de unos suelos y el engrosamiento de otros, b) aparición de hidromorfia y de caracteres vérticos, c) disminución del contenido de carbono orgánico (aproximadamente 300.000 kgs/Ha.), d) pérdida de capacidad de cambio (400.000 eq/Ha aproximadamente) y e) la reducción del agua útil (140.000 l./Ha.).

Los suelos deforestados han sufrido procesos de erosión por el agua, de degradación física y de degradación biológica.

BIBLIOGRAFIA

- BARCELO, G.; PARRAGA, J.; RUIZ CAMACHO, C. y DELGADO CALVO-FLORES, R. (1985). Efectos de la deforestación sobre los suelos de la comarca de Antequera (Málaga). I. Caracteres generales del área y morfología de los perfiles. An. Edaf. y Agrobiol. XLIV. núm. 5-6. Págs. 681-698.
- BARTH, R. C. (1980). Influence of pinyon pine trees on soil chemical and physical properties. Soil Sci. Soc. Am. 44, 112-114.
- BERGER (1969). Introductory soils. McMillan. London. 371 pp.
- BIRKELAND, P. W. (1974). Pedology, Weathering and geomorphological research. Oxford University Press. 285 pp.
- BRAUN BLANQUET, J. (1979). Fitosociología. Ed. Blume. 820 pp.
- BUCKMAN, H. O. y BRADY, N. C. (1977). Naturaleza y propiedades de los suelos. Ed. Montaner y Simón. 590 pp.

- BUOL, S. W.; HOLE, F. R.; McCracken, F. J. (1973). Soil genesis and classification. The Iowa State University Press. 360 pp.
- DAJOZ, R. (1979). Tratado de Ecología. Ed. Mundi-Prensa. 610 pp.
- ESCARRE, A. GRACIA, C.; RODA, F. y TERRADAS, J. (1984). Ecología del bosque esclerófilo mediterráneo. Investigación y Ciencia. Núm. 95 68-78.
- FAO y PNUMA (1980). Metodología provisional para la evaluación de la degradación de suelos. FAO Roma.
- GAUCHER, G. (1981). Traité de Pedologie agricole. II. Les facteurs de la pedogenese. Ed. G. Lelotte. 730 pp.
- GONZALEZ BERNALDEZ, F. (1981). Ecologia y paisaje. Ed. Blume, 256 pp.
- HENIN, S.; GRAS, R.; MONNIER, G. (1972). El perfil cultural. Ed. Mundi Prensa. 342 pp.
- HUNT, C. B. (1972). Geology of Soils. Freeman and Company. 344 pp.
- LAL, R. (1984). Soil erosion from tropical arable lands and its control. Adv. Agron. Vol. 37, 183-248 pp.
- LELONG, R.; ROOSE, E.; AUBERT, G.; FRANCK, R. y PEDRO, G. (1984). Geodynamique actuelle de differents sols a vegetation naturelle ou cultives d'Afrique de l'ouest. Catena, VOL. 11, 343-376.
- MC COLL, J. G. (1977). Retention of soil water following forest cutting. Soil Sci. Soc. Am. Journal Vol. 41, 984-988.
- PARRAGA, J.; BARCELO, G. y DELGADO CALVO-FLORES, R. (1985). Efectos de la deforestación sobre los suelos de la comarca de Antequera (Málaga). II. Propiedades y clasificación de los perfiles. An. Edaf. y Agrobiol. XLIV. Núm. 5-6. Págs. 699-715.
- PENNYPACKER, S. P.; SOPPER, W. E. y KARDOS, L. T. (1975). Thermal conductivity of a red Pine forest floor. Soil Sci. Soc. Amer. J. Vol. 39, 973-978.
- PRITCHETT, W. L. (1979). Properties and management of forest Soils. Jhon Wiley and Sons. 499 pp.
- RAMADE, F. (1977). Elementos de ecología aplicada. Ed. Mundi-Prensa. 581 pp.
- RUSSELL, E. J. y RUSSELL, E. W. (1968). Condiciones del suelo y crecimiento de las plantas. Ed. Aguilar. 801 pp.
- WOOD, H. B. (1977). Hydrologic differences between selected forested and agricultural soils in Hawai. Soil Sci. Soc. Amer. J. Vol. 41, 132-136 pp.

Recibido para publicación: 6-V-85.



**LOS XERUMBREPTS BAJO MATORRAL DE ALTA MONTAÑA
DE LA VERTIENTE SUR DE SIERRA NEVADA (GRANADA)**

Por

G. DELGADO CALVO-FLORES,* J. PARRAGA MARTINEZ, E. SERRANO
MOLINA* y R. DELGADO CALVO-FLORES*

SUMMARY

THE XERUMBREPTS OF MOUNTAIN SHRUBBERY FROM
SOUTH VERSANT OF SIERRA NEVADA (GRANADA) SPAIN)

Have been studied the Xerumbrepts formed under Genista and Juniperus shrubbery in the South slope of Sierra Nevada (Granada, Spain).

The soils have profils O, Ah, Bw y C, with the subsurface altered horizon weakly developed.

They are sandy-skeletal texture, acid reaction, base desaturation, relatively high organic matter content and sesquioxides mobilization processes. These characteristics are owing to the import altitude, the parent rock acid and the abrupt landscape.

The soils studied are humic Cambisols in the F. A. O. classification, acid brown soils in the French classification and finally, oligotrophic Braunerdes in the Kubiena system.

INTRODUCCION

La vegetación climax de amplias zonas de Sierra Nevada, es el cinturón arbustivo de piornos, enebros y sabinas (Jupinero-Genistetum boeticae, Quezel, 1953), el cual es un cinturón que bordea el macizo entre las cotas de 2000 a 2500-2700 metros (Espinosa, 1976) coincidiendo con el piso bioclimático oromediterráneo (Rivas Martínez, 1981).

La importancia de esta formación es innegable, al tener una cobertura superficial importante (sujección de laderas), y por ser relativamente ricas en especies (algunas de ellas endémicas).

El matorral de altura de Sierra Nevada, ha sufrido multitud de agresiones que en muchos casos, han conducido a su desaparición, por sustitución con comunidades degradativas. El matorral ha sido arrancado para implantar cultivos, quemado con fines ganaderos y últimamente, eliminado para implantar bosques de pinos.

La importancia ecológica de esta formación, justifica sobradamente el estudio de sus suelos, siendo este el objetivo del presente trabajo.

Dada la extensión de las áreas actualmente repobladas de coníferas en la vertiente Sur de Sierra Nevada sobre el matorral de piornos, hemos iniciado una línea de investigación cuyo objetivo último es detectar las posibles influencias sobre el suelo de estos cambios de vegetación. El presente estudio pertenece a esta serie de trabajos y su objetivo concre-

* Departamento de Edafología, Facultad de Farmacia, Universidad de Granada.

to es la caracterización de los suelos no alterados. El conocimiento de sus propiedades es indispensable para valorar los posibles efectos de la repoblación en suelos bajo pino, los cuales son objeto de estudios posteriores.

El área de estudio se ubica en la vertiente Sur de Sierra Nevada (Fig. 1) siendo la cuenca alta del río Chico. Los factores formadores de los suelos han sido exhaustivamente tratados en dos estudios anteriores, a los cuales remitimos al lector (Párraga Martínez, et al., 1985 y Delgado Calvo-Flores y Ortega Bernaldo de Quirós, 1985).

Los suelos bajo matorral de altitud en Sierra Nevada, han sido estudiados en la vertiente Norte por Delgado Calvo-Flores et al., (1982 a) estableciendo la presencia de Xerumbrepts típicos, Criumbrepts típicos y Criumbrepts énticos, dependiendo de la cota y la pendiente.

Las tierras pardas desarrolladas sobre materiales silíceos, más o menos ácidas y oligotróficas, ocupan extensiones considerables en nuestro país. En la España húmeda y en las áreas montañosas, son frecuentes en relación con suelos rankeriformes. En las regiones semiáridas, también son abundantes estas formas, aunque menos espesas y ácidas y más pobres en materia orgánica (Guerra et al., 1968). Otro de los objetivos del presente estudio, es incrementar el inventario existente sobre este tipo de suelos. Sobre ellos, existen ya bastantes trabajos en España (por ejemplo, Hoyos de Castro et al., 1978; Gallardo et al., 1981; Bech et al, 1982).

MATERIAL Y METODOS

El material del presente estudio, son los horizontes de suelo de cuatro perfiles muestreados en los puntos señalados en la figura 1. El muestreo se realizó seriado con la altitud.

Los perfiles de suelos fueron descritos según las normas de la FAO (1977). Para la descripción de los horizontes O se empleó la nomenclatura clásica de los edafólogos forestales (capas L, F y H) así como fueron consideradas diversas características de interés (color, cantidad de restos reconocibles, etc.).

Determinaciones analíticas

— pH: En ClK 1N, 1:1; en agua destilada 1:1 y en pasta saturada. En los horizontes O la proporción 1:1 fué modificada a 1:10.

— Análisis granulométrico: Arenas por tamizado, limo y arcilla, por método de la pipeta de Robinson (Soil Survey Staff, 1951). También se ha determinado la fracción menor de 0,075 mm (textura unificada).

— Retención de agua 1/3 y 15 atmósferas: Método de la membrana de Richards (1954).

— Agua útil: Calculada a partir de la retención a distintos p F, las densidades aparentes de la grava y de la tierra fina y el porcentaje de grava. La densidad aparente de la tierra fina, se ha calculado por ecua-

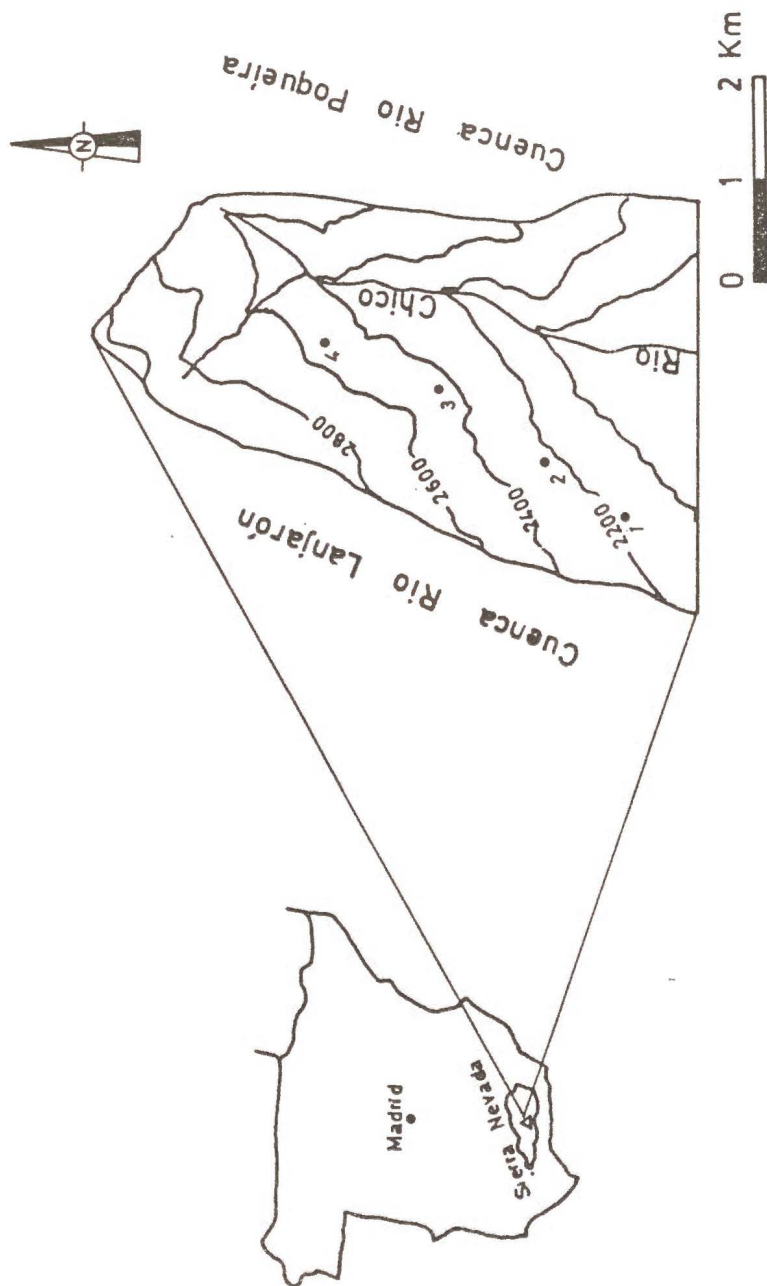


FIG. 1.—Localización del área de estudio y de los perfiles muestreados

ciones de correlación, considerando la capacidad de cambio, porcentaje de carbono y porcentaje de limo, (Delgado Calvo-Flores, 1980).

— Capacidad y bases de cambio: Percolación sucesiva de Acetato Amónico y Acetato sódico acidulado (Soil Conservation Service, 1972).

— Carbono orgánico: Técnica de Tyurin (1936) descrita por Kononova (1961).

— Nitrógeno total: Método de Kjeldhal (CSIC, 1969).

— Fósforo asimilable: Método descrito por C. S. I. C. (1969).

— Hierro y Aluminio libres: Extracción con citrato y ditionito de sodio (Holgren, 1967) y medición por absorción atómica.

Mención especial merece el cálculo de las horas de insolación en cada punto, al afectar a su edafoclima y por ende importante de ser considerado en el estudio multiparametral objeto de un trabajo posterior. El método empleado ha sido indirecto y basado en el ángulo que describe el sol por encima del punto en cuestión; para ello, hay que considerar los obstáculos al levante y al poniente. Para un recorrido de 180°, se ha considerado como patrón de insolación la del aeropuerto de Granada, 2918,6 horas/año (media de once años 1973-1983).

RESULTADOS Y DISCUSION

Caracteres descriptivos:

Los caracteres descriptivos generales de los perfiles estudiados se resumen en la Tabla I.

El drenaje de todos los suelos se ha calificado de moderadamente bien drenado, ya que si bien las texturas son groseras (ricas en gravas y arenosas) y las pendientes fuertes, el suelo se encuentra desarrollado en todos los casos a partir de ruditas glaciares y periglaciares de origen mixto, es decir derrubios de ladera con aportes morrenicos; la roca madre es en todos los casos un micascuisto grafitoso, con cuarcitas en menor cuantía.

En la Tabla II se recogen los inventarios florísticos concretos por punto de muestreo. Hay que llamar la atención sobre el hecho de que el arbusto presente todos los casos es el piorno (*Genista baetica*) aunque también aparece el *Cytisus purgans*. Ni enebros ni sabinas se han reconocido. Por otra parte la cobertura tiende a decrecer con la altitud, de la misma forma que el porte de los arbustos.

Las principales características morfológicas de los horizontes en los cuatro perfiles muestreados se resumen en la Tabla III con la simbología empleada por Delgado Calvo-Flores, et al. (1982). La descripción de los horizontes O, no figura en dicha relación ya que los caracteres descritos son algo diferentes. Se han subdividido en capas y su morfología para cada perfil es como sigue:

Perfil nº 1:

Capa L: De 8 a 4 cm. Restos de acículas de piorno y de tallos, perfectamente reconocibles. Se desmenuzan con dificultad entre los dedos.

TABLA I

Caracteres Generales de los perfiles

Caracteres	Perfil n.º 1	Perfil n.º 2	Perfil n.º 3	Perfil n.º 4
Altitud (m)	2160	2250	2425	2500
Orientación geográfica	N, 120 ° E	N, 165° E	N, 135° E	S
Insolación h/año	2464	2383	2286	2344
Exposición al viento	Moderada	Moderada a fuerte	Fuerte	Ligera
Pendiente	Escarpada (50 %)	Escarpada (42 %)	Escarpada (40 %)	Muy escarpada (56 %)
Posic. Fisiográfica	Ladera rectilínea longitudinalmente y convexa en sentido transversal.	Ladera ligeramente convexa longitudinalmente y concava en sentido transversal.	Ladera rectilínea longitudinalmente y moderadamente convexa en sentido transversal.	Ladera rectilínea longitudinalmente y convexa en sentido transversal.
Micotopografía	Lóbulos de reptación	Lóbulos de reptación	Lóbulos de reptación	Lóbulos de reptación
Drenaje	Moderadamente bien drenado	Moderadamente bien drenado	Moderadamente bien drenado	Moderadamente bien drenado
Condiciones de humedad del suelo	Húmedo en su totalidad	Húmedo en su totalidad	Húmedo en su totalidad	Húmedo en su totalidad
Profundidad de la capa freática	Desconocida	Desconocida	Desconocida	Desconocida
Pedregosidad superf.	Clase 4	Clase 0	Clase 4	Clase 2
Rociedad	Clase 1	Clase 0	Clase 0	Clase 0
Evidencias de erosión hídrica	Laminar moderada	No	Laminar moderada	No
Evidencias de erosión eólica	Moderada	No	Moderada	No
Deposición	Moderada tamaño piedra	No	Moderada tamaño piedra y grava	No

TABLA II

Descripción de la vegetación

	Perfil n.º 1	Perfil n.º 2	Perfil n.º 3	Perfil n.º 4
Cobertura media	80%	100%	60%	80%
Altura media	20 cm	25 cm	20 cm	15 cm
Area	100 m ²	100 m ²	100 m ²	100 m ²
Inventario Florístico y Coeficientes Fitosociológicos	<i>Genista baetica</i> 4-5 <i>Agrostis nevadensis</i> 3-3 <i>Cytisus purgans</i> (+) <i>Koeleria crassipes subsp.</i> <i>nevadensis</i> 1-2 <i>Deschampsia flexuosa</i> <i>subsp. ibérica</i> 2-3 <i>Thymus serpylloides subsp.</i> <i>gadorensis</i> (+) <i>Festuca indigesta</i> (+) <i>Hieracium castellanum</i> 3-3	<i>Genista baetica</i> 4-4 <i>Cytisus purgans</i> 3-3 <i>Agrostis nenevadensis</i> + -1 <i>Pinus uncinata repoblado</i> + <i>Festuca indigesta</i> 1-2 <i>Festuca gautieri</i> 1-1 <i>Hieracium castellanum</i> 1-1 <i>Cirsium gregarium</i> + <i>Campanula rapunculus</i> + <i>Marrubium supinum</i> +	<i>Cytisus purgans</i> 2-2 <i>Genista baetica</i> % + -2 <i>Reseda complicata</i> + <i>Festuca gautieri</i> 1-1 <i>Festuca indigesta</i> 3-3 <i>Hieracium castellanum</i> + -2 <i>Jurineo humilis</i> +	<i>Genista baetica</i> 4-4 <i>Deschampsia flexuosa</i> <i>subsp. ibérica</i> 2-3 <i>Cytisus purgans</i> + <i>Thymus serpylloides</i> + <i>Festuca indigesta</i> 1-1 <i>Hieracium castellanum</i> 1-1

TABLA III

Caracteres morfológicos de los horizontes

Perfil	Horiz	Prof. cms.	Color		Textura	Estructura	Consistencia	Poros	Frag. Gruesos	Raices	Lim. Hor.
			Húmedo	Seco							Subyac.
1	0	8- 0	10YR 3/3	10YR 5/5	fn, G, muPg	—	—	—	—	—	N, pl
	Ah	0- 24	10YR 3/2	10YR 5/3	fn, G, poPg	mi, me, de	nad, n pl, fb, bl	5fi, Im, Ex	7srd, 3ag, pom	3gr, sf	N, pl
	Bw	24- 70	10YR 5/5	10YR 6/5	fan, G	bs, gr, mo	lad, lpl, fb, bl	3fi, In 7mc, In	7srd, 3ag, men	3fi	Gr, pl
	C	70-100	10YR4,5/6	10YR 6/5	fn, G, mu Pg	bs/ba-la, fi, mde	lad, lpl, fb, bl	3fi	7srd, 7ag, men	3fi/me	—
2	0	8- 0	10YR 3/3	10YR 3,5/ /3,5	fn	—	—	—	—	—	N, pl
	Ah	0- 20	10YR3/2,5	10YR 5/4	fn, G, PoP	mi, fi, de	nad, npl, fb, bl	5mc	7rd, 7ag, pom	7mfi	Gr, pl
	Bw	20- 50	10YR 5/6	10YR 7/7	f, G	bs, fi, de	lad, lpl, fb, bl	3mc	3mum	5fi me	Gr, Ir
	C	> 50	10YR 4/5	10YR5,5/6	fa, G, mu, Pg	bs/ba-la, fi, mde	lad, lpl, fb, bl	—	3mum	—	—
3	0	2- 0	10YR 3/3	10YR3,5/ /3,5	fn	—	—	—	—	—	—
	Ah	0- 23	10YR 3/3	10YR3,5/3	fn, G, poP	bs, me, fi, mde- -mi, fi, de	nad, npl, fb, bl	5fi	5ag, 3srd, pom	7fi, mfi, 3me	N, pl
	Bw	23- 55	10YR3,5/4	10YR 5/5	fn, muG, poP	bs/ba, me, mo	lad, lpl, fb, bl	—	5ag, 3srd, pom	3me/fi	N, pl
	C	55- 80	10YR3,5/3	10YR 5/5	fn, G, poP	bs, me, mde, mi fi	lad, lpl, fb, bl	3fi, In	5ag, 3srd, pom	3fi/mfi	—
4	0	4- 0	10YR 3/5	10YR 4/5	fan	—	—	—	—	—	Br, pl
	Ah	0- 22	10YR3,5/3	10YR5/3,5	fn, G, Pg, poP	mi, fi, de	nad, npl, fb, bl	7fi, Ip	7ag, 3srd, pom	7fi, me, 3gr	Gr, pl
	Bw	22- 55	10YR5,5/3	10YR 5/4	fn, G	bs, m, fi, mde- -bs, mfi-mde- -mi, fi, de	lad, lpl, fb, bl	3fi, 4me, Ip	7ag, 3srd, pom	7fi, me, 3gr	Gr, Ir
C	> 55	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

Capa F: De 4 a 1 cm. Restos de piorno reconocibles, estratificados y apelmazados, su disposición entrecruzada recuerda a un retículo. Se desmenuza fácilmente entre los dedos. Se advierte un mayor contenido de materia mineral, reconocible en forma de pequeños cantos y material fino. Asimismo aparecen excretas de la edafofauna, que ayudan a conformar la estructura.

Capa H: De 1 a 0 cm. No presenta prácticamente restos vegetales reconocibles, salvo algunos fragmentos gruesos y raíces finas frescas. El contenido de materia mineral (grava y tierra fina) es aún mayor. Su estructura es migajosa, de agregados muy finos ($\approx 1\text{mm}$ de diámetro) posiblemente excretas. Presenta canales, consecuencia de la actividad biológica y una gran porosidad.

Perfil n° 2:

Capa L: De 8 a 4 cm. Restos vegetales poco descompuestos procedentes de Genista en su mayor parte. Es un material suelto con disgregabilidad que varía con la profundidad. Se observan excretas de pequeños mamíferos posiblemente roedores.

Capa F: De 4 a 1 cm. Agregados migajosos muy orgánicos con una pequeña proporción de material mineral. Es un nivel apelmazado, estratificado, aunque poroso. La estructura general es fibrosa, fácilmente disgregable entre los dedos. Se reconocen, al igual que en el caso anterior, restos de actividad biológica.

Capa H: De 1 a 0 cm. Color oscuro casi negro. Se aprecian algunos restos de material vegetal reconocible (pero descompuesto) aunque en su mayor parte es material humificado con poca fracción mineral. Su estructura es migajosa. Presenta un entramado de raicillas vivas y poros de origen biológico.

Perfil n° 3

El espesor del horizonte O no es constante ya que en algunas zonas decrece hasta los 0,5 ó 1 cm e incluso desaparece como ocurre en las partes altas de las coladas de reptación.

Capa L: De 2 a 0,5 cm. Constituida por restos poco alterados de gramíneas y "Cytisus".

Capa F: De 0,5 a 0 cm. De color más oscuro que la capa anterior. Se compone de restos vegetales parcialmente descompuestos, con algún fragmento de carbón indicativo de una quema antigua. Está algo apelmazado con una red de raíces que traba el conjunto. Presenta fase mineral en pequeña cantidad, constituida por fragmentos tamaño grava, y escasa tierra fina.

Perfil n° 4

Capa L: De 4 a 2 cm. Color oscuro. Restos de Genista y Deschampsia reconocibles, concretamente acículas y tallos gruesos, finos y muy finos.

Capa F: De 2 a 0 cm. Color más oscuro que la capa anterior. Constituida por restos más alterados; fácilmente disgregable; recuerda a un entramado. Hay cierta incorporación de fase mineral. Las estructuras son, en general, entre moderadas a débiles, migajosas en los horizontes Ah y en bloques subangulares en los Bw. La porosidad es en muchos casos intersticial; creada por huecos entre cantillos debidos a lavado. Los fragmentos gruesos fueron lavados y descritos visualmente comprobándose que en la mayoría de los casos están constituidos por micasquistos grafitosos, muchas veces con pequeños granates y clorita, color gris oscuro y grano medio, aunque también se han descrito grueso. Aparecen asimismo, fragmentos de cuarcita micácea y restos de venas de cuarzo; las micacitas aparecen en algunos perfiles pero son menos frecuentes.

Los fragmentos gruesos están recubiertos de una fina capa de material limoso, producto del lavado de finos en el perfil vertical o lateral. Asimismo, es frecuente, sobre todo en los horizontes profundos, encontrar directamente sobre la superficie de los fragmentos manchas de óxido producto de la meteorización y de la dinámica del hierro en esta zona (Barahona et al., 1982).

Sobre muchos de los fragmentos gruesos se observan estrías y pulimentaciones, que testimonian su origen morrénico Wurmiense. Aunque el grado de meteorización es en general bajo, a veces se encuentran cantos muy alterados que pensamos pueden proceder de fases climáticas anteriores (interglaciar Riss-Wurm).

Los horizontes O decrecen en espesor y pierden la capa H al aumentar la cota, como consecuencia de que los procesos erosivos se activan, la vegetación pierde porte y densidad y la humificación empeora por disminución de las temperaturas.

Los horizontes profundos de los perfiles 1, 2 y 3 no se han calificado como BC o Bw₂, ya que si bien las características de la tierra fina recuerda a la del B, son horizontes ricos en pedregones, situándose la tierra fina en las fisuras.

Caracteres analíticos (Tabla IV)

Como quedó de manifiesto en los caracteres morfológicos y en este punto se constata con los datos analíticos, se trata de suelos muy similares. A nivel de todo el conjunto podemos destacar algunos hechos:

Análisis granulométrico

El porcentaje de arena en la mayoría de los casos decrece entre el Ah y la parte inferior del suelo; el limo y la arcilla tienen el comportamiento inverso. Las causas de este hecho son: Actividad erosiva superficial en A por el agua que discurriría por la superficie del suelo mineral; lavado de finos a la profundidad y alteración profunda en el perfil con formación de arcilla, liberación de hierro y estructuración, paralelas a la meteorización de la roca (formación del Bw).

El horizonte Bw no se diferencia texturalmente del C, e incluso a

TABLA IV

Caracteres analíticos de los perfiles

Perfil	Horiz	Prof. (cm)	Arena %	Limo %	Arcilla %	Grava %	% ARENAS					Unified %	%C	%N
							A.M.G	A.G.	A.M.	A.F.	A.M.F.			
1	0	8- 0	66,2	26,4	9,3	—	—	—	—	—	—	16,07	1,03	
	Ah	0- 24	72,0	20,5	7,5	39	14,5	13,67	13,60	18,83	11,33	33,32	1,67	0,13
	Bw	24- 70	53,2	26,2	20,6	46	10,39	11,01	8,65	13,78	9,36	52,93	0,67	0,083
	C	70-100	56,7	24,1	19,2	45	15,3	12,1	8,4	10,9	10,0	44,1	0,11	0,092
2	0	8- 0	56,9	29,7	13,3	—	—	—	—	—	—	15,85	1,43	
	Ah	0- 20	61,9	27,9	10,2	69	9,42	10,26	12,18	18,3	11,68	39,48	2,36	0,21
	Bw	20- 50	39,2	36,6	24,2	51	6,30	7,71	13,01	7,99	4,17	60,83	0,95	0,12
	C	> 50	33,7	33,0	33,3	69	12,1	8,4	4,4	4,4	4,4	66,8	0,75	0,15
3	0	2- 0	53,9	31,8	14,3	—	—	—	—	—	—	13,93	1,23	
	Ah	0- 23	66,0	22,3	11,8	64	12,6	13,19	13,20	16,08	10,8	39,95	5,16	0,38
	Bw	23- 55	72,1	21,3	6,6	77	20,35	14,28	13,28	15,39	8,73	99,5	1,16	0,13
	C	55- 80	77,4	13,8	8,8	59	16,6	13,3	13,7	19,6	14,1	23,7	0,56	0,086
4	0	4- 0	51,8	22,9	25,3	—	—	—	—	—	—	18,21	1,68	
	Ah	0- 22	72,8	19,6	7,6	73	7,68	11,26	20,38	23,48	10,0	29,33	3,97	0,23
	Bw	22- 55	64,6	25,2	10,2	50	8,47	9,95	11,78	19,96	14,48	43,3	1,47	0,11

A.M.G. = Arena muy gruesa; A.G.= Arena gruesa; A.M.= Arena media; A.F.= Arena fina; A.M.F.= Arena muy fina.

TABLA IV

Caracteres analíticos de los perfiles (Continuación)

Perfil	Horiz	C/N	pH			P as. mg/100g	B. Cambio meq/100 gr					C.E.C. meq/ 100g	Sat. bas. %	Fe libre %	Al libre %
			H ₂ O 1:1	ClK 1:1	Pasta		Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Bases				
1	0	15,6	4,9	4,1	4,7	68,2	27,4	7,8	0,2	0,9	36,3	21,0	100,0	0,65	0,15
	Ah	13,2	4,8	3,7	4,8	17,7	1,8	0,3	0,1	0,1	2,3	6,3	36,5	1,85	0,46
	Bw	8,1	5,3	4,0	5,2	13,6	1,0	0,4	0,1	0,1	1,5	9,4	15,9	2,15	0,73
	C	1,20	5,8	4,1	5,9	8,2	0,08	0,8	0,96	1,24	3,1	10,16	50,6		
2	0	11,1	5,4	4,6	5,1	55,0	45,9	7,3	0,1	1,7	55	23,1	100,0	0,96	0,18
	Ah	11,2	5,1	3,9	5,1	7,6	2,3	1,3	0,1	0,2	3,9	9,9	39,4	2,05	0,45
	Bw	7,9	5,4	4,1	5,3	7,2	0,6	0,3	0,1	0,2	1,2	9,9	12,1	2,80	0,99
	C	4,90	5,6	4,2	5,9	7,4	0,2	0,7	1,0	1,2	3,1	12,11	25,6		
3	0	11,3	5,8	5,0	5,9	29,7	35,5	5,5	0,2	1,4	42,6	17,3	100,0	0,70	0,18
	Ah	13,6	4,8	3,6	4,6	12,5	3,7	0,8	0,1	0,2	4,8	15,1	31,9	1,85	0,40
	Bw	8,9	5,4	4,3	5,3	17,8	1,5	0,2	0,1	0,1	1,9	6,7	28,3	1,37	0,52
	C	6,5	6,2	5,4	6,6	8,3	0,05	0,45	0,5	1,2	2,2	4,97	44,3		
4	0	10,8	5,4	4,3	5,3	68,0	27,9	8,5	0,3	3,8	40,5	25,6	100,0	0,30	0,12
	Ah	17,2	4,6	3,6	4,6	12,6	2,2	1,5	0,1	0,2	4,0	8,5	47,0	1,78	0,25
	Bw	13,4	4,8	3,7	4,7	12,9	1,8	0,9	0,1	0,1	2,9	6,6	43,9	2,13	0,42

veces hay una textura más fina en este último. Ello se debe a que el C debe tener rellenos de las partes superiores. Como ya hemos explicado no se calificó de BC, o incluso como Bw2, al ser muy esquelético. Los análisis de grava adjuntados en la tabla no son indicativos de este carácter porque corresponden a los rellenos entre pedregones.

El horizonte O tiene una textura más fina que Ah quizás porque la parte mineral procede en gran medida de acumulación de polvo atmosférico.

Materia orgánica

Los contenidos en O y A son relativamente importantes en casi todos los casos al tratarse de suelos vírgenes de alta montaña. En el perfil las cantidades decrecen, aunque la acumulación alcanza una profundidad importante y en el Bw no es difícil encontrar hasta más del 1% de carbono orgánico. El nitrógeno sigue en sus tendencias al carbono al ser esencialmente orgánico.

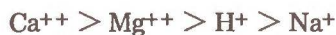
La relación C/N no alcanza valores muy elevados en ningún caso, lo que unido a la morfología del perfil húmico y el pH, permiten aventurar que el humus es de un tipo Mull ácido con algún carácter de Moder (horiz. O) (Duchaufour, 1975).

pH

Son suelos ácidos, consecuencia del régimen climático y tipo de roca. No se aprecian diferencias notables entre el pH medido en agua y en pasta saturada. Existe una tendencia general de aumento con la profundidad de forma inversa al contenido de materia orgánica; (menos radicales orgánicos ácidos) en C aumentan las bases de forma importante. El horizonte O es en todos los casos más básico que el horizonte A a causa de los aportes exógenos de bases que suponen el polvo atmosférico, las precipitaciones (Delgado Calvo-Flores et al., 1981), los restos frescos de vegetales caídos en la superficie etc.. El pH en CIK es lógicamente más bajo dado que se trata de la acidez potencial y la diferencia al pH en agua es importante de acuerdo con los rasgos de pH de estos suelos. Esta diferencia aumenta de O a B paralelamente al contenido de Al libre, como responsable importante de la acidez potencial.

Complejo de cambio

Las bases de cambio se encuentran en el siguiente orden de contenido para todos los horizontes y perfiles.



El calcio y el magnesio tienen origen exógeno en una gran medida, como ha sido indicado y además porque los micasquistos contienen poca cantidad de los mismos (Puga, 1976). El H⁺ procede esencialmente de los

micas (moscovitas y fengitas) presentes en cantidades importantes en la roca madre. El Na igualmente procede de los minerales primarios (paragonita, albita etc.) y su pequeña cantidad está en relación con su mayor movilidad. En general el contenido de bases decrece con la profundidad desde O hasta B lo que posee un valor interpretativo restringido ya que el complejo de cambio se relaciona estrechamente con la materia orgánica y ésta desciende con la profundidad. Por esta razón se han calculado las saturaciones medias de las tres bases principales (Ca, Mg y K) en los diferentes horizontes (Tabla V). Se observa en dicha Tabla un decrecimiento en el contenido de bases del complejo de cambio al profundizar en el perfil de O a B que se debe a dos razones fundamentales. En primer lugar se puede citar el reciclaje biológico de las bases que la vegetación efectúa, mucho más si se tiene en cuenta la gran profundidad que alcanzan las raíces del matorral y por último el aporte de bases exógeno en superficie.

El horizonte C es menos saturado que A y B al encontrarse fuera del ámbito de las raíces y estar constituido por materiales más inalterados. La saturación en bases a nivel del horizonte O es cercano al 100%, en los horizontes A y B desciende a valores incluso menores del 50%. Son suelos desaturados en el "solum" como corresponde a rocas pobres en bases con un clima de elevada pluviosidad.

Hierro y aluminio libres

Presentan un mínimo en O, aumentan bruscamente en Ah y siguen creciendo, aunque de forma más suave en profundidad. El comportamiento en el horizonte orgánico se justifica por la poca presentación de la fase mineral: las formas libres del hierro y del aluminio proceden de la meteorización de los minerales primarios y una parte importante se liga a ellos formando recubrimientos peculiares. El aumento de A hacia la profundidad parece indicar en primer lugar, que el horizonte B es de alteración profunda con más liberación de sesquióxidos. Así mismo no puede olvidarse que en conexión con las épocas primaverales de Eh bajo y con cierta movilidad de la materia orgánica (Barahona et al., 1982)

TABLA V

Saturación en Calcio, magnesio y potasio de cambio

Horizonte medio*	Profund.	%		
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺
O	5,5- 0	156,5	33,6	8,1
Ah	0 -22	25,3	9,1	2,0
Bw	22 -60	14,5	4,8	1,2

*Medias ponderadas a los espesores.

los sexquióxidos pueden emigrar en el perfil acumulándose en las zonas profundas. Tal como exponen los autores anteriormente citados estos fenómenos pueden suponer en cierta medida procesos de podsolización química. El contenido de hierro es muy superior al de aluminio por dos razones fundamentales, en primer lugar porque en el margen de pH en que se encuentran las soluciones del suelo, el aluminio es más móvil que el hierro y puede entonces ser eliminado el sistema con más facilidad; en segundo lugar el aluminio puede entrar en la interlámina de las esmectitas producidas por degeneración de las moscovitas y fengitas (Delgado Calvo-Flores, 1980).

Clasificación

Se ha efectuado por cuatro sistemas: Clasificación de la F. A. O. (1973), Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 1975), clasificación francesa (C. P. C. S., 1967) y claves de Kubiena (1953).

Según las clasificaciones cuantitativas los suelos tienen un epipedón úmbrico y un horizonte cámbico. El epipedón úmbrico está constituido por el horizonte Ah, puesto que el O, al ser fácilmente erosionable, no debe tenerse en cuenta; es un epipedón bastante claro de color y en algún caso al límite de requerimientos. El horizonte cámbico está muy poco manifestado en la mayoría de los casos; las diferencias texturales con C o son muy pequeñas o tienen un sentido contrario al requerido por el cámbico. Las evidencias de alteración manifestadas por el color son más patentes (aumento de croma de C a B) pero tampoco adquieren una gran relevancia.

En todos los casos el horizonte O es de material de suelo orgánico.

Con todo ello y los regímenes de humedad y temperatura recogidos en la Tabla I se pueden clasificar todos los suelos como Xerumbrept típico en el esquema americano y cambisol húmico en el de la F. A. O..

En la clasificación francesa estos perfiles tienen la mayoría de las propiedades de los suelos pardos ácidos, sin que se pueda descartar cierta integración hacia pardos criptopodsólicos. Análogamente en la clasificación de Kubiena se tratarían de Braunerde oligotrófica, cercanos y por ende procedentes de Ranker pardo mulliforme, probablemente con ciertos rasgos podsólicos.

CONSIDERACIONES FINALES

Pasando en primer lugar una breve revista a los caracteres de estos perfiles, habría que decir que se trata de cuatro exponentes de las tierras pardas ácidas de Sierra Nevada (Xerumbrept típico), bajo matorral, de caracteres similares entre ellas. La secuencia de horizontes es O, Ah, Bw, C y las texturas francas o francoarenosas esqueléticas. Contenidos moderados a altos de materia orgánica (en % C el Ah tiene entre 1,67 y 5,16) con humus intergrado entre mull ácido y moder forestal, pH ácido (entre 4,6 y 6,6 todos los horizontes); procesos de rebasificación

superficial exógena y reciclaje biológico de bases apreciable; en Ah y Bw la saturación en bases se encuentra por debajo del 50%. Contenidos notables de Fe y Al libre que al aumentar con la profundidad denotan procesos de movilización.

Con respecto a los suelos de la vertiente Norte existen grandes analogías, y las diferencias son esencialmente clasificatorias. El hecho de ser Xerumbrept y no Criumbrept es porque poseen un régimen de temperatura frígido y no críico, debido a la presencia de horizonte O. Esto rebaja las temperaturas requeridas para el criico con lo que asciende los límites altitudinales. La presencia del horizonte O no es muy común en Sierra Nevada, aunque en las zonas donde la vegetación es más densa (o muy cercana del pie del arbusto) es posible encontrarlo. En este caso los suelos se seleccionaron con este horizonte no por su abundancia, sino para poder estudiar el perfil húmico en detalle.

La caracterización completa de estos suelos, profundizando en los aspectos genéticos requiere avanzar en el conocimiento de la fase orgánica y sus relaciones con los sesquióxidos libres así como analizar mineralógicamente las distintas fracciones mecánicas. Hacia estos objetivos, además del análisis de la influencia de la repoblación de coníferas, se están dirigiendo nuestros esfuerzos en la actualidad.

RESUMEN

En este trabajo se estudian los Xerumbrept desarrollados bajo matorral de piornos, enebros y sabinas en la vertiente Sur de Sierra Nevada (Granada, España).

Presentan perfiles O, Ah, Bw y C con el horizonte de alteración profunda poco manifestado. Son de texturas arenosas esqueléticas, ácidos, desaturados en bases, relativamente ricos en materia orgánica y con fenómenos de movilización de sesquióxidos. Todo ello es consecuencia de una altitud importante, roca madre ácida y relieve abrupto.

En la clasificación de la F. A. O. son cambisoles húmicos, en la clave francesa de 1967, suelos pardos ácidos y en la de Kubiena Braunerdes oligotróficas.

AGRADECIMIENTOS

A la Oficina Meteorológica del aeropuerto de Granada.

A los Drs. D.^a Guadalupe Martín Calderón y D. Joaquín Molero Mesa por el asesoramiento en los aspectos botánicos.

BIBLIOGRAFIA

- BARAHONA, E.; DELGADO CALVO-FLORES, R. y LINARES, J. (1982). Estudio de las características del sistema edáfico de Sierra Nevada mediante análisis factorial. *Anal. Edaf. y Agrobiol.* 427-446.
- BECH, J.; HERETER, A. y VALLEJO, R. (1982). Estudio de la materia orgánica de tierras pardas ácidas sobre granodiorita de Viladrau (Gerona). *Anal. Edaf. Agrobiol.*, 41, 641-651.
- C. S. I. C. (1969). Métodos analíticos de la Estación Experimental del Zaidín. C. S. I. C. Granada.
- CLASSIFICATION DES SOLS (1967). Commission de Pedologie et de Cartographie des sols. INRA. París.
- DELGADO CALVO-FLORES, R. (1980). Edafología y geoquímica de las alteraciones superficiales en la cuenca alta del río Dilar (Sierra Nevada). Tesis Doctoral. Fac. Ciencias. Univ. Granada.
- DELGADO CALVO-FLORES, R. BARAHONA, E.; HUERTAS, F. y LINARES, J. (1981). Cuantificación de la meteorización química de una cuenca de Sierra Nevada. *Estudios Geol.*, 37, 329-335.
- DELGADO CALVO-FLORES, R.; BARAHONA, E. y LINARES, J. (1982a). El relieve como factor formador de los suelos de Sierra Nevada. *Anal. Edaf. Agrobiol.* 41, 441-473.
- DELGADO CALVO-FLORES, R.; BARAHONA, E. HUERTAS, F. y LINARES, J. (1982b). Los Mollisoles de la cuenca alta del río Dilar (Sierra Nevada). *Anal. Edaf. Agrobiol.*, 41, 59-82.
- DELGADO CALVO-FLORES, R. y ORTEGA BERNALDO DE QUIROS, E. (1984). Edaof climas de la vertiente Sur-Suroeste de Sierra Nevada. *Anal. Edaf. Agrobiol.* XLIII, 987-1017.
- ESPINOSA FERNANDEZ, P. (1976). Cartografía de la vegetación de Sierra Nevada. Tesis Doctoral. Univ. Granada.
- F. A. O. (1973). Soil Survey interpretation for engineering purposes. *Soil Bulletin* 19.
- F. A. O. (1977). Guías para la descripción de perfiles de suelos. F. A. O. Roma.
- GALLARDO, J. F.; GONZALEZ, M. I. y CUADRADO, S. (1982). Suelos forestales de la Vera (Cáceres). *Anu. Cent. Edafol. Biol. Apl. Salamanca.* VIII.
- GUERRA, A. et al. (1968). Mapa de suelos de España. 1:1.000.000. Inst. Nac. de Edaf. y Agrobiol. "José María Albarela". 117 p.
- HOLGREN, G. J. (1967). A rapid citrate-dinitite extractable iron procedure. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 31, 210-211.
- HOYOS DE CASTRO, A.; PALOMAR G.^a-VILLAMIL, M.^a L. y FERNANDEZ BERMEJO, C. (1979). Desarrollo del suelo sobre material silíceo en función del tiempo, clima y vegetación. *Anal. Edaf. Agrobiol.*, 38, 763-779.
- KONONOVA, M. M. (1961). *Soil organic matter*. Pergamon Press. Nueva York.
- KUBIENA, W. (1953). Claves sistemáticas de suelos. C. S. I. C. Madrid.
- PARRAGA MARTINEZ, J.; DELGADO CALVO-FLORES, R.; SERRANO MOLINA, M.^a E. y ORTEGA BERNALDO DE QUIROS, E. (1985). Factores formadores de los suelos sometidos a repoblación de Pinus en la cuenca alta del río Chico. (Sierra Nevada). *Studia Oecológica* (En prensa).
- PUGA, E. (1976). Investigaciones petrológicas en Sierra Nevada. Tesis Doctoral Univ. Granada.
- RICHARDS, L. A. (1954). Diagnosis and improvement of saline and alkali soils U. S. salinity laboratory. U. S. Dept. Agric. Handbook, 60.
- RIVAS MARTINEZ, S. (1981). Les etages bioclimatiques de la vegetation de la Peninsule Iberique. *Actas III Congr. Dpt. Anal. Jard. Bot. Madrid.* 37(2) 251-268. (1981).
- SOIL CONSERVATION SERVICE (1972). *Soil Survey laboratory methods and procedures for collecting soilsamples*.
- SOIL SURVEY STAFF (U. S. D. A.) (1951). *Soil Survey Manual. Handbook*, 18.

APLICACION DE UN ANALISIS MULTIVARIANTE A LOS SUELOS DE LA ALFAGUARA (SIERRA DE ALFACAR-GRANADA)

Por

I. GARCIA FERNANDEZ, M. SIMON TORRES y A. POLO SANCHEZ

SUMMARY

APPLICATION OF A MULTIVARIATE DATA ANALYSIS TO THE SOILS OF THE ALFAGUARA (SIERRA DE ALFACAR-GRANADA)

At the present work we have made a multivariate data analysis of the soils situated at the Sierra de Alfacar-Granada-Spain. The work have been made considering to the soils horizons as individuals samples so that we can establish the diferent index of similitude between them and so it may be explained the convergent or divergent evolution at the light of the different factors and process which conditioned its edaphogenesis.

The nature of the original material play a valious paper at the major or minor similitude of the horizons which are formed on it. At the case of homogenous material, as the quartzite, the similarity between the horizons is high and only the vegetation seems to impose several diferences between them. In carbonated materials with more variability in their phisical, chemical and mineralogical properties they originated horizons which are more different each other and these diferences increase by the action of several speciphic process.

INTRODUCCION

Una de las características más destacadas de la Alfaguara, desde el punto de vista edafológico, es la diversidad de suelos que presenta y que hay que atribuir a la variabilidad de los factores formadores como roca, vegetación, orientación, etc.

Se localiza al N-NE de Granada capital, entre las coordenadas UTM: 450-456 y 4122-4126.

Desde el punto de vista geológico se sitúa al N de la depresión de Granada, abarcando incluso una pequeña parte de la misma y en ella, además de los materiales postorogénicos, se encuentran representadas las dolomias y calizas de la "unidad de la Mora", datadas del Lias; así como las cuarcitas y filitas del Permo-Werfeniense y las calizas tableadas, calizas y dolomias grises del Trias Medio Superior, perteneciente al "manto de la Alfaguara" (Foucoult et al., 1970).

Macroclimáticamente presenta un régimen de temperatura méxico, con una temperatura media anual de 12,2° C y un régimen de hume-

dad xérico, con una precipitación media anual de 728 mm. No obstante las diferentes orientaciones, altitudes (de 1.100 a 1.600 m aproximadamente), etc. condicionan variaciones climáticas que, unidas a la variabilidad en el desarrollo y naturaleza de los suelos, dan lugar a zonas microclimáticas muy contrastadas que se reflejan en la naturaleza y desarrollo de su vegetación natural.

Esta vegetación natural se encuentra representada por cuatro series como son:

a) Serie de encinares sobre suelos ricos en bases (serie meso-supramediterránea bética basífila de la encina).

b) Serie de los encinares sobre suelos ácidos (serie meso-supramediterránea nevadense silicícola de la encina).

c) Serie de los encinares y acerales béticos (serie supramediterránea subhúmeda bética basífila del quejigo).

d) Serie de los robledales (serie supramediterránea nevadense silicícola del roble-melojo).

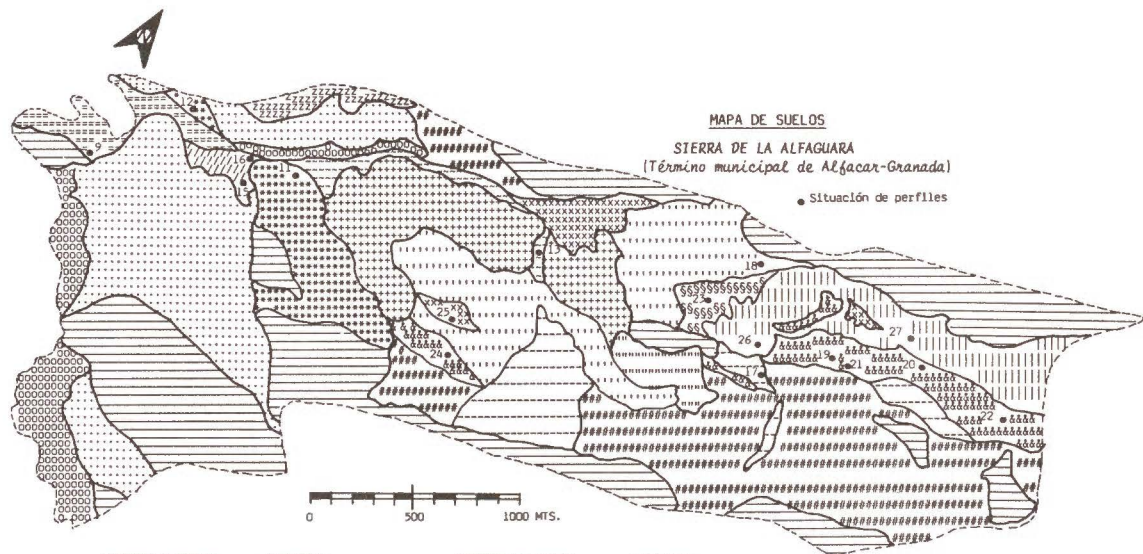
No obstante estas series han sufrido importantes alteraciones como consecuencia, en la mayoría de los casos, de la intensa actuación antrópica (talas, repoblaciones, incendios, pastoreo, etc...), las cuales han reducido sus techos evolutivos a núcleos aislados, de forma que en la actualidad se encuentran representadas por sus respectivos matorrales seriales y subseriales e incluso se ha llegado a su completa desaparición en el caso de antiguos y densos pinares de repoblación.

OBJETIVOS Y METODOLOGIA

El objetivo de este trabajo, además de dar a conocer la cartografía edafológica de una importante área ecológica de la provincia de Granada, es establecer los índices de semejanza existentes entre los horizontes más representativos de los distintos tipos de suelos presentes en la zona y a partir de ellos intentar explicar la evolución convergente o divergente de dichos horizontes a la luz de la actuación de los distintos factores y procesos que condicionaron su edafogénesis.

Para lograr estos objetivos se utilizaron las fotografías aéreas a escala aproximada de 1:18.000 a partir de las cuales se establecieron, de manera tentativa, las distintas unidades de suelos. Posteriormente estas unidades fueron descritas en el campo tanto desde el punto de vista de sus suelos como de los factores que condicionaron la formación de estos y por último se establecieron las unidades definitivas así como sus límites; en total la zona se dividió en 17 unidades de suelos (Fig. 1), basadas fundamentalmente en el grado evolutivo de los suelos que las integran, en la abundancia-dominancia de cada tipo de suelo presente en la unidad (en primer lugar se sitúan los más abundantes) y en el carácter cálcico, eútrico o dístrico de los mismos (F.A.O.-U.N.E.S.C.O., 1974).

Dado que la totalidad de los suelos estudiados en la realización de la cartografía pueden verse en otros trabajos (García, 1983; García et al., 1983a; García et al., 1983b; García y Simón, 1984 y Simón et al.,

UNIDADES DE SUELOS

1		Rc, Bk	dc, dcd, dd
2		I	c, cd
3		I, Rc	d, c, cd
4		Bk, Rc, Lc	dc, dcd, m
5		E, Rc	acd, dd
6		E, Bk	dd
7		Rc	d
8		Rc, Bk, E	dc
9		Lc, I	c

LITOLOGIAUNIDADES DE SUELOS

10		Bk, Rc	c, cd
11		Rc, I, Bk	c, cd
12		Rc, Bk, I	c, ct
13		Re, Be	cu, f
14		Be, Bd, Re	cu, f
15		Be, Bd	cu, f
16		Be, Re	f
17		Re, Rd	cu, f

LITOLOGIALITOLOGIA

dc= material detrítico calizo
 ddc= " " dolomítico
 dcd= " " calizo-dolomítico
 d= dolomías
 cdc= calizas dolomíticas
 c= calizas
 ct= calizas tableadas
 cu= cuarcitas
 f= fillitas

Fig. 1.—Mapa de Suelos y distribución de perfiles. En la clasificación de los suelos se ha seguido la sistemática de F. A. O.-U. N. E. S. C. O. (1974). La simbología empleada es: I = Litosoles; Rc, Re y Rd = Regosoles calcálicos, eútricos y distícos; E = Rendinas; Bk, Be, y Bd = Cambisoles calcálicos, eútricos y distícos; Lk y Lc = Luvisoles calcálicos y crómicos.

1984) y debido a la extensión que ocuparían, limitaremos las descripciones morfológicas y analíticas a aquellos perfiles y horizontes sobre los que se llevó a cabo el análisis multivariante. El resto de la información cartográfica puede solicitarse directamente a los autores.

Para el análisis multivariante se seleccionaron 17 perfiles cuya localización puede verse en la Fig. 1, intentando que dentro de esta muestra quedasen representados no sólo los suelos "climax" desarrollados sobre los distintos materiales sino también aquellos que han visto alterada su evolución como consecuencia de la actuación antrópica o aquellos cuyas características responden a la actuación de determinados procesos específicos. De ellos se seleccionaron los horizontes superficial y sub-superficial, siempre que estos últimos fuesen suficientemente ricos en carbono orgánico como para poder llevar a cabo una extracción fiable de ácidos húmicos y fúlvicos, ya que estos fueron dos de las variables utilizadas.

En total se seleccionaron 33 horizontes, cuyas características morfológicas pueden verse en la Tabla I, y 17 variables de cada uno de ellos correspondientes a: profundidad del límite inferior del horizonte, grava, arena gruesa, arena fina, arcilla, carbonatos, carbono orgánico, relación C/N, pH, ácidos húmicos, ácidos fúlvicos, bases de cambio (Ca, Mg, Na y K), capacidad de cambio y grado de saturación.

A partir de estas variables se construyó la matriz de datos de la Tabla II, la cual se transformó de manera que todos los datos fuesen comparables aritméticamente en un rango de 0 a 100 (Etchevehere et al., 1971), estableciéndose a continuación el grado de semejanza o índice de similitud existente entre las distintas muestras estudiadas mediante la distancia euclídea de sus variables y calculada a partir de la fórmula:

$$d = \frac{\sum_1^n (X_k - X_y)^2}{n}$$

y que representa la distancia entre los horizontes k e y, definidos por un número n de caracteres.

Una vez obtenida la matriz con todos los índices de similitud, esta se transformó mediante la fórmula:

$$S = \frac{10.000 - d}{100}$$

con objeto de dar el valor 100 a la máxima semejanza y 0 a la mínima. Posteriormente se construyó la nueva matriz de los índices de semejanza y a partir de ella se comparan todos los índices a partir de los de mayor valor, que corresponderán al par de horizontes que presenten la mayor semejanza, frente a los restantes horizontes mediante simples operaciones aritméticas. Los resultados obtenidos se llevan a un cluster en el que quedarán agrupados los distintos horizontes en función de su grado de similitud.

TABLA I

Características macromorfológicas de los suelos

Perfil	Prof. cm	Color		Text.	Estruct.	Frag.		
		H	S			rocosos	Poros	Raíces
P. 9Ah	0-11	7,5YR 4/4	7,5YR 5/4	fa	gmg	p	m	c
P. 9Bt	11-58	5YR 3/3	5YR 4/3	a	bam	mp	p	mp
P.11Ah	0-20	7,5YR 2/2	7,5YR 3/2	faar	mm	p	m	ma
P.12Ah	0-20	10YR 3/2	10YR 4/2	far	bsf	a	m	a
P.12Ahb	20-60	10YR 2/1	10YR 3/2	faar	mf	a	m	a
P.13Ah	0-10	10YR 3/2	10YR 4/2	far	bsfm	mp	m	a
P.13AB	10-30	10YR 3/3	10YR 5/3	far	bsm	p	f	ma
P.15Ah	0-15	7,5YR 3/2	7,5YR 4/2	faar	mm	a	m	a
P.16Ah	0-24	7,5YR 3/3	7,5YR 4/4	faar	mm	p	m	ma
P.17Ah	0-8	10YR 5/4	10YR 6/5	f	mf	mp	m	p
P.17Bw	8-25	5YR 4/4	5YR 5/5	far	bsm	mp	f	ma
P.18Ah1	0-4	10YR 2/1	10YR 4/1	far	mm	mp	f	mp
P.18Ah2	4-9	10YR 3/2	10YR 5/2	far	mm	mp	m	a
P.18Bw	9-41	7,5YR 4/4	7,5YR 6/4	far	bam	mp	f	a
P.19Ah	0-10	10YR 4/3	10YR 6/4	far	mg	mp	m	ma
P.19Bw	10-27	10YR 5/4	10YR 7/4	far	bam	mp	f	a
P.20Ah	0-10	10YR 4/3	10YR 6/3	f-faar	mf	mp	m	c
P.20Bw	10-30	7,5YR 5/4	7,5YR 6/4	f-faar	bsm	mp	f	c
P.21Ah	0-8	10YR 4/2	10YR 6/3	arf	mf	mp	m	ma
P.21AC	8-14	10YR 5/3	10YR 6/3	arf	baf	f	f	c
P.22Ah	0-4	10YR 4/2	10YR 6/2	arf	mm	mp	m	mp
P.22AC	4-15	10YR 5/3	10YR 7/3	arf	baf	mp	f	mp
P.22C	15-30	10YR 5/3	10YR 7/3	arf	baf	f	f	mp
P.23Ah	0-15	7,5YR 3/2	7,5YR 5/2	far	mg	p	m	ma
P.23Bw	15-30	7,5YR 4/4	7,5YR 6/4	far	bam	f	f	a
P.24Ah	0-7	10YR 3/3	10YR 4/3	lar	mf	mp	m	ma
P.24AB	7-16	10YR 4/4	10YR 5/4	lar	bsf	mp	f	a
P.25Ah	0-2	10YR 3/2	10YR 5/2	far	mf	mp	m	ma
P.25Bw	2-26	10YR 3/2	10YR 5/2	far-f	bag	mp	m	a
P.26Ah	0-3	10YR 5/2	10YR 7/2	arf-ar	baf	mp	f	mp
P.26AC	3-22	10YR 5/4	10YR 7/4	arf	baf	p	p	c
P.27Ah	0-2	10YR 3/4	10YR 6/4	far	gm	p	m	c
P.27AC	2-38	10YR 4/4	10YR 6/4	far	baf	f	f	c

Textura: a=arcillosa; fa=franco arcillosa; f=franca; far=franco arenosa; faar=franco arcillo arenosa; arf=arenosa franca; lar=limo arenosa.

Estructura: mm=migajosa mediana; mf=migajosa fina; mg=migajosa gruesa; gm=grumosa mediana; gmg=grumosa mediana gruesa; bam=bloques angulares medianos; baf=bloques angulares finos; bag=bloques angulares gruesos; bsf=bloques subangulares finos; bsm=bloques subangulares medianos.

Fragmentos rocosos y Poros: p=pocos; mp=muy pocos; f=frecuentes; a=abundantes.

Raíces: mp=muy pocas; p=pocas; c=comunes; a=abundantes; ma=muy abundantes.

CARACTERISTICAS DE LOS SUELOS

El perfil 9 representa a los Luvisoles Cálcidos y se caracteriza por una secuencia de horizontes de tipo Ocrico-Argílico-Calcico. El suelo primitivo sufrió un proceso de erosión, de forma que en la actualidad el epipedon Ocrico se ha desarrollado sobre el antiguo horizonte Argílico que, al quedar en superficie por la pérdida de los horizontes superficiales, fue colonizado por un prado de enraizamiento corto. Hoy día, la abundancia de carbonato cálcico en todo el perfil está provocando un proceso de empardecimiento que se superpone al antiguo proceso de iluviación y hace que el horizonte Argílico pierda sus características y adquiera otras más propias de un horizonte Cámbico.

Los diferentes tipos de Rendzinas vienen representados por los perfiles 11, 12, 13 y 16. Los perfiles 11 y 16 representan a los suelos climáticos actuales desarrollados sobre dolomias kakiritizadas y coluvios calizos respectivamente, bajo una vegetación natural de encinas con un sotobosque perteneciente a la as. *Saturejo-Echinopartetum boissieri* Rivas Goday & Rivas Martínez, 1968 y en orientación norte; ambos desarrollan un potente horizonte mólico en superficie, pero mientras que éste es el único horizonte de diagnóstico en el perfil 11, en el perfil 16 se presentan además un horizonte Cámbico seguido de un Cálcido y ambos con un contenido en CO_3Ca superior al 40%. El perfil 12 caracteriza a las Rendzinas desarrolladas sobre coluvios calizo-dolomíticos, con una vegetación de matorral (aulagar-tomillar), en orientación sur y que han sufrido un enterramiento por nuevos depósitos; su carácter fundamental es el color muy oscuro de su horizonte Mólico enterrado, así como la elevada proporción de ácidos húmicos en comparación con los fúlvicos ($\text{AH}/\text{AF} = 4$) que parece indicar la intervención de la humificación abiológica. El perfil 13 representa a las Rendzinas en posición de vaguada, desarrolladas sobre coluvios de dolomias kakiritizadas y bajo una repoblación de pinos (*P. pinaster* y *P. silvestris*); su posición de fondo de vaguada condiciona la aparición de un horizonte Cámbico y su vegetación de pinos da lugar a una materia orgánica con características peculiares (García, 1983).

El perfil 15 representa a los Regosoles Calcáricos desarrollados sobre coluvios calizos y bajo una vegetación de matorral perteneciente a la as. *Teucro-Brachypodietum ramosum* Bolos 1953. Presenta una secuencia de horizontes de tipo Ocrico-Cálcido en la que el epipedón Ocrico reúne todas las características del Mólico excepto el espesor, morfológicamente muestra un color muy oscuro y un fuerte enriquecimiento en materia orgánica, el más rico de todos los estudiados, al tiempo que un elevado contenido en caliza pulverulenta que, de acuerdo con Toutain (1974), podría ser la responsable del elevado contenido en materia orgánica.

El perfil 17 caracteriza a los Cambisoles Cálcidos desarrollados sobre coluvios calizos, bajo un bosque de pinos de repoblación (*P. pinaster* y *P. silvestris*) con sotobosque de ericáceas (*Artostaphylos uva-ursi*), en exposición norte muy umbría y sometido a la actuación de las "po-

dredumbres blancas". Estas podredumbres originan la formación de un horizonte Ah parcialmente decolorado, con un elevado contenido en compuestos orgánicos poco polimerizados y prácticamente decarbonatado, que se sitúa encima de un horizonte Cámbico bien estructurado y con una coloración pardo-rojiza (Simón et al., 1984).

Los Cambisoles eútricos están representados por los perfiles 18, 19, 20, 24 y 25. El perfil 19 representa al suelo climático actual desarrollado sobre cuarcitas y bajo una vegetación de encinas y robles (*Quercus rotundifolia* y *Q. pyrenaica*); muestra una secuencia de horizontes de tipo Ocrico-Cámbico, con una coloración parda y una estructura que varía de migajosa gruesa en superficie a bloques angulares en profundidad. Los perfiles 18 y 20 representan las modificaciones que muestra el suelo climático cuando sobre él tienen lugar actuaciones diversas como incendio o aclaramiento de la vegetación climax e inclusión de pinos de repoblación.

El perfil 18 presenta en su superficie gran cantidad de tocones de pino, lo que unido a la presencia de carbón vegetal en el seno de sus horizontes superficiales, ponen de evidencia que el suelo estuvo repoblado por pinos que sufrieron un incendio y posterior abandono, de forma que en la actualidad está rebrotando la vegetación natural constituida por la as. *Halimio-Cistetum laurifolii* Martínez P. & Molero M. 1982. Morfológicamente el suelo presenta dos horizontes Ah en superficie con una coloración muy oscura y poco potentes y un contenido en ac. húmicos superior al de fúlvicos, seguidos de un horizonte Cámbico con una estructura en bloques angulares y un mayor cromatismo que en superficie.

El perfil 20 presenta una vegetación natural semejante a la del 19, pero con una menor densidad y con pies de pinos relativamente jóvenes, dispersos y situados en los claros de la misma. Morfológicamente es semejante al perfil 19; no obstante, desde un punto de vista químico, sus horizontes superficiales presentan rasgos diferenciadores como son un mayor contenido en materia orgánica y una menor descomposición de la misma, lo que probablemente es debido a la mayor insolación de la superficie del suelo como consecuencia de la menor densidad vegetal que se traduce en unas condiciones microclimáticas más secas.

El perfil 24 caracteriza a los Cambisoles Eútricos desarrollados sobre coluvios cuarcíticos, en fondo de vaguada y bajo una vegetación natural perteneciente a la as. *Cytiso-Adenocarpum decorticantis* Valle 1981 salpicada de escasos pinos de repoblación. Su posición de vaguada hace que presente un solum más potente que el perfil 19, aunque con la misma secuencia de horizontes y semejantes propiedades químicas a excepción de un grado de saturación mucho más elevado y atribuible a su posición topográfica.

El perfil 25 se puede considerar como un caso especial dentro de los Cambisoles Eútricos ya que es el único que se desarrolla sobre filitas y bajo vegetación de prado. Este material original le da al suelo unas características morfológicas y analíticas diferentes del resto de los Cambisoles eútricos desarrollados sobre cuarcitas, de entre las que caben

destacar su pH ligeramente básico y la completa saturación de su complejo de cambio, al tiempo que su vegetación de prado da lugar a una materia orgánica muy bien transformada.

Los Cambisoles Dístricos desarrollados sobre cuarcitas vienen caracterizados por el perfil 23. Este suelo, al igual que el perfil 18, presenta en su superficie gran cantidad de tocones de pino y restos de carbón vegetal en su horizonte superficial, lo que indica que la zona estuvo repoblada de pinos que posteriormente sufrieron un incendio; en la actualidad la superficie del suelo está colonizada por una vegetación natural perteneciente a las as. *Cytiso-Adenocarpetum decorticantis* Valle 1981. Presenta una secuencia de horizontes de tipo Ocrico-Cambico, con una estructura que varía de migajosa gruesa en superficie a bloques angulares medianos en profundidad y una coloración parda en todo el perfil. El carácter dístrico de este suelo parece venir condicionado por su posición norte, en umbría, que condiciona un microclima más húmedo y por tanto un mayor lavado que en el caso del perfil 18 y de ahí su diferente vegetación actual.

Los Regosoles Dístricos, desarrollados todos ellos sobre cuarcitas, están representados por los perfiles 21, 22 y 26. Los perfiles 22 y 26 se localizan bajo densos bosques de pinos de repoblación (*P. pinaster* y *P. sylvestris*) con un sotobosque muy escaso; ambos presentan un horizonte Ah muy poco profundo, con una materia orgánica escasamente descompuesta y poco incorporada a la fracción mineral, seguido de un horizonte de transición AC con una estructura muy poco consistente de coloraciones claras y texturas arenosas. El perfil 21 presenta en su superficie una vegetación natural perteneciente a la as. *Cytiso Adenocarpetum decorticantis* Valle 1981 de mediana a escasa cobertura, aunque al igual que en las zonas ocupadas por los perfiles 18 y 23 se observan gran cantidad de tocones de pino que nos hablan de una antigua repoblación; morfológicamente es semejante a los demás Regosoles Dístricos pero con un horizonte Ah menos nítido.

Finalmente, el perfil 27 caracteriza a los Regosoles Eútricos desarrollados sobre cuarcitas; se presenta en orientación sur y bajo una vegetación natural de mediana cobertura perteneciente a la as. *Halimio-Cistetum laurifolii* (Martínez & Molero, 1982) salpicada con pinos de repoblación (*P. pinaster* y *P. sylvestris*) en los claros de la misma. Morfológicamente muestra una secuencia de horizontes semejante a la de los Regosoles dístricos vistos anteriormente, aunque con características químicas diferentes, sobre todo en lo que respecta a su carácter eútrico que viene condicionado por su orientación sur que limita la humedad y por tanto el lavado.

ANALISIS NUMERICO

A partir de los datos de la Tabla II se estableció el índice de similitud existente entre las distintas muestras y cuyos resultados quedan sintetizados en el dendrograma de la Fig. 2, en el que se obtiene un rea-

Fig. 2.—DENDROGRAMA

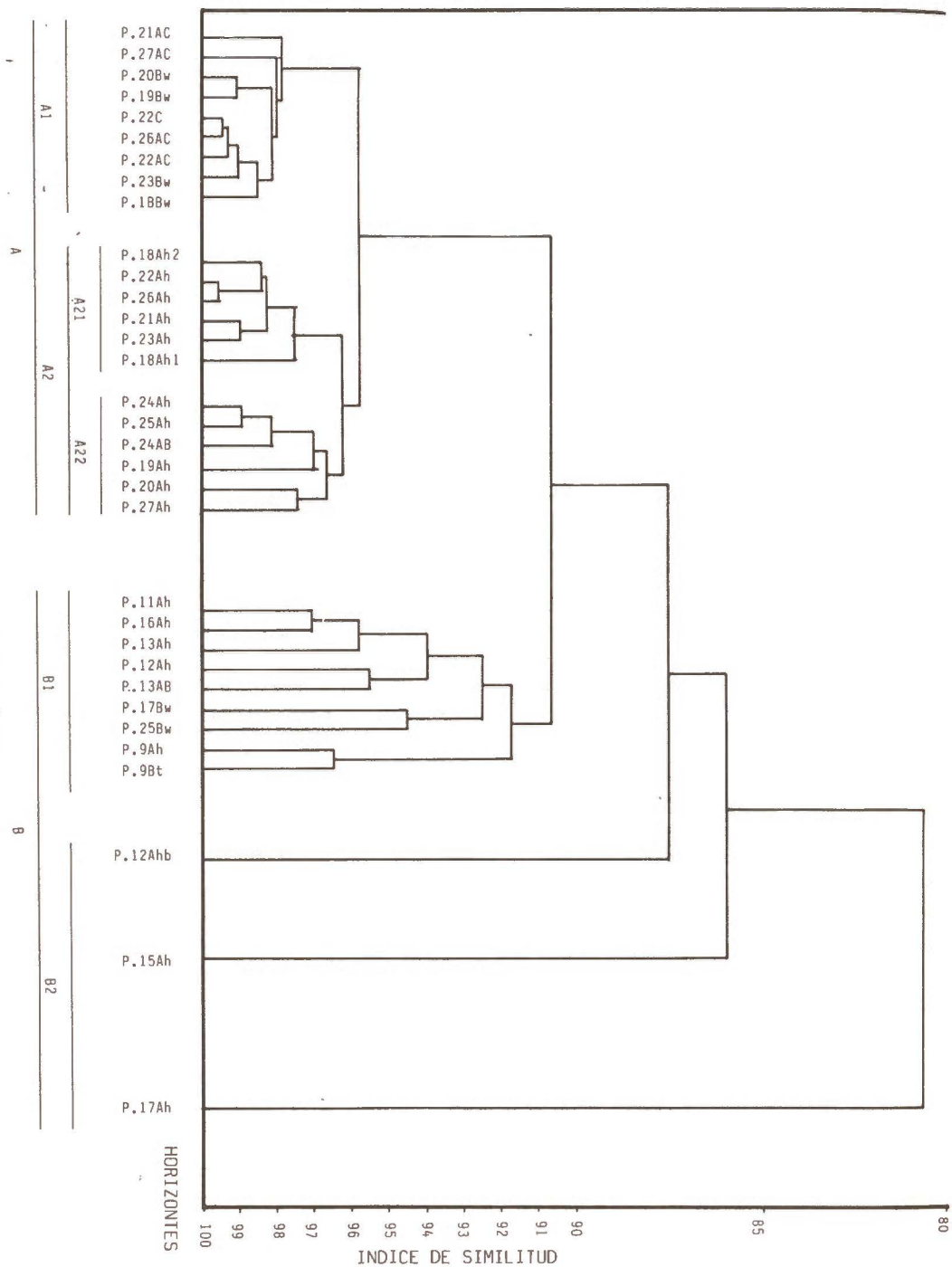


TABLA II

Características analíticas de los suelos

Perfil	Prof. cm.	% s.t. Grava	% respecto tierra fina			% C/N					Bases y Capacidad (meq/100g)					% V	pH
			Ar.gr.	ar. fina	Arcilla	CO ₃	C.O.	AH	AF	C/N	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	T		
P.9Ah	11	23,0	22,5	16,1	38,9	38,8	1,25	0,23	0,20	16,9	19,0	7,3	0,1	0,9	22,8	100	8,1
P.9Bt	38	19,0	13,7	13,9	50,0	26,1	0,73	0,15	0,12	12,0	21,5	11,0	0,1	0,6	28,8	100	8,1
P.11Ah	20	10,0	5,6	55,7	25,0	30,4	4,99	1,00	1,08	11,5	27,2	19,1	0,1	0,3	29,4	100	8,0
P.12Ah	20	45,0	17,5	50,5	10,7	67,5	2,54	0,47	0,21	21,5	18,3	4,7	0,1	0,2	17,3	100	8,2
P.12Ahb	60	70,0	10,8	44,1	21,3	51,6	3,72	0,92	0,23	14,9	46,0	9,0	0,1	0,1	29,7	100	8,4
P.13Ah	10	10,0	1,2	56,0	10,3	51,1	4,39	0,92	0,68	29,6	30,6	21,1	0,0	0,1	22,8	100	7,8
P.13AB	30	34,0	4,0	56,0	8,2	57,5	2,12	0,39	0,23	14,5	23,8	19,2	0,0	0,1	12,8	100	8,1
P.15Ah	15	42,0	12,5	34,0	27,4	20,9	7,39	1,56	0,62	12,5	23,3	16,7	0,1	0,8	40,5	100	7,9
P.16Ah	24	17,0	6,3	50,9	27,9	28,4	3,54	0,63	0,67	10,5	24,5	11,8	0,0	0,2	21,1	100	8,1
P.17Ah	8	5,8	6,0	37,0	15,9	1,1	5,22	0,19	0,82	45,0	2,6	16,4	0,9	0,5	24,8	82,2	6,5
P.17Bw	25	14,0	7,2	49,1	11,9	21,8	1,44	0,11	0,37	11,4	14,1	5,3	0,3	0,1	10,9	100	7,7
P.18Ah1	4	20,0	45,8	29,6	11,9	0,0	6,47	1,13	0,80	34,9	13,2	2,0	0,0	0,2	36,6	41,9	6,2
P.18Ah2	9	30,0	46,5	28,0	9,7	0,0	3,40	0,47	0,31	33,0	8,1	1,9	0,0	0,1	22,8	44,5	6,2
P.18Bw	41	33,0	45,9	28,5	9,3	0,0	0,44	0,06	0,07	11,9	1,6	1,1	0,0	0,1	4,8	57,4	6,4
P.19Ah	10	7,0	22,8	32,3	18,4	0,0	3,79	0,66	0,93	15,3	7,2	2,0	0,0	0,5	20,0	49,0	6,3
P.19Bw	27	15,0	29,9	32,0	13,8	0,0	1,11	0,22	0,29	12,3	3,6	1,8	0,0	0,2	10,2	54,1	6,2

TABLA II (Continuación)

Características analíticas de los suelos

Perfil	Prof. cm.	% s.t. Grava	% respecto tierra fina			%					Bases y Capacidad (meq/100g)						pH
			Ar. gr.	Ar. fina	Arcilla	CO ₃	C.O.	AH	AF	C/N	Ca ⁺⁺	MgII	Na ⁺	K ⁺	T	% V	
P.20Ah	10	13,0	26,0	25,8	20,7	0,0	6,46	0,62	0,90	22,0	16,7	5,7	0,0	0,4	24,9	92,2	6,7
P.20Bw	30	20,0	22,7	25,5	24,4	0,0	1,84	0,15	0,30	17,0	5,8	3,0	0,1	0,1	13,7	65,9	6,5
P.21Ah	8	17,0	39,8	33,5	9,1	0,0	5,29	0,76	0,76	25,4	6,5	2,0	0,0	0,2	19,0	46,0	5,9
P.21AC	14	46,0	39,4	32,3	9,5	0,0	1,27	0,18	0,31	18,8	2,4	1,3	0,0	0,2	8,3	46,7	5,7
P.22Ah	4	21,0	48,6	33,5	5,3	0,0	2,61	0,30	0,49	22,5	3,8	1,6	0,0	0,2	9,5	59,3	6,4
P.22AC	15	24,0	44,2	31,8	7,3	0,0	0,82	0,11	0,19	15,2	1,3	0,4	0,1	0,1	4,9	48,2	5,9
P.22C	30	23,0	45,3	26,2	8,5	0,0	0,48	0,04	0,10	10,0	0,8	0,6	0,0	0,1	4,8	31,9	5,3
P.23Ah	15	23,0	42,1	24,1	14,8	0,0	5,29	0,72	0,68	27,5	9,3	2,0	0,0	0,2	26,4	43,4	5,7
P.23Bw	30	37,0	46,4	22,2	13,6	0,0	0,56	0,03	0,14	10,8	1,1	1,0	0,2	0,2	6,2	34,9	5,3
P.24Ah	7	11,0	26,0	31,9	18,0	0,0	3,83	0,53	0,72	14,0	12,6	2,8	0,2	0,5	17,0	94,6	6,7
P.24AB	16	16,0	28,0	31,7	15,3	0,0	2,40	0,30	0,58	11,7	8,9	1,6	0,2	0,2	12,8	85,3	6,6
P.25Ah	2	8,0	19,3	38,7	15,5	0,0	3,53	0,53	0,70	10,5	11,9	5,0	0,4	0,4	16,5	100	7,8
P.25Bw	26	8,0	21,9	31,8	16,8	0,0	2,12	0,37	0,43	9,6	9,6	3,5	0,9	0,2	13,2	100	7,1
P.26Ah	3	18,0	45,3	38,7	1,9	0,0	3,36	0,30	0,42	24,3	5,1	1,8	0,0	0,2	12,4	57,1	5,5
P.26AC	22	17,0	42,5	34,6	6,2	0,0	0,61	0,07	0,17	11,7	1,2	0,7	0,0	0,1	5,1	39,2	5,2
P.27Ah	2	30,0	22,5	43,2	9,1	0,0	6,01	0,81	1,00	25,3	14,9	5,3	0,1	0,3	19,1	100	6,8
P.27AC	38	42,0	23,9	41,8	10,2	0,0	1,03	0,12	0,18	18,4	3,1	1,4	0,2	0,1	7,9	60,6	6,1

La grava representa el % respecto al suelo total; AH=Acidos húmicos en % respecto al suelo total; AF=Acidos fúlvicos en % respecto al suelo total.

grupamiento de los distintos horizontes en función de dicho índice de similitud.

En un primer análisis del dendrograma, las muestras se distribuyen en dos grupos bien diferentes: el grupo A, caracterizado por una cierta homogeneidad y en el que quedan comprendidos todos los horizontes de los suelos desarrollados sobre material no carbonatado, a excepción del horizonte Cámbico del suelo desarrollado sobre filitas (P. 25 Bw), y el grupo B en el que se incluyen todos los horizontes de los suelos desarrollados sobre material carbonatado, los cuales muestran menores índices de semejanza y mayor dispersión entre ellos.

Dentro de los horizontes desarrollados sobre material no carbonatado (A) cabe hacer una nueva diferenciación en base a una mayor semejanza entre ellos, distribuyéndose por un lado, los horizontes minerales, grupo A1, y por otro los orgánico-minerales, grupo A2. Los horizontes minerales forman un conjunto más o menos homogéneo con un alto índice de similitud (≈ 98), mientras que los orgánicominales muestran una dispersión algo mayor y se pueden subdividir a su vez en otros dos grupos en base a la naturaleza de la vegetación que soportan o que soportaron anteriormente, como son el grupo A21 en el que se incluyen los horizontes Ah de los suelos desarrollados bajo densos pinares de repoblación (P. 22 y P. 26) o que estuvieron sometidos a este tipo de repoblaciones (P. 18, P. 21 y P. 23) y el grupo A22 que comprende los horizontes Ah de los suelos desarrollados bajo vegetación natural (P. 19 y P. 25) o en los que la vegetación natural ha sido ligeramente modificada mediante la introducción de pies aislados de pinos en los claros de la misma (P. 24, P. 20 y P. 27).

El grupo B, horizontes de suelos desarrollados sobre material carbonatado, presenta una fuerte dispersión entre sus muestras y no parece establecerse una diferenciación neta entre horizontes minerales y orgánico-minerales, sino que más bien esta diferenciación está basada en la variabilidad de los factores y procesos que han condicionado su formación. Dentro de la heterogeneidad, sus horizontes se pueden dividir en dos grupos: el B1 en el que quedan incluidos tanto horizontes minerales como orgánico-minerales y que se caracteriza por una "relativa" homogeneidad y el B2 en el que sus muestras presentan una gran dispersión entre sí. En el grupo B1 la mayor semejanza la presentan los horizontes Ah de los perfiles 11 y 16, y los horizontes Ah y Bt del perfil 9.

Un hecho a destacar es el del perfil 25 desarrollado sobre filitas que muestra una gran diferenciación entre sus horizontes, hasta el punto de que su horizonte Ah se incluye en el grupo A22 y su horizonte Bw en el B1.

CONSIDERACIONES GENERALES

De acuerdo con los resultados obtenidos, los suelos desarrollados sobre cuarcitas presentan unas características mucho más homogéneas entre sí que los desarrollados sobre material carbonatado, lo que podría

venir inducido por la mayor variabilidad en las propiedades químicas y físicas y en la composición mineralógica de estos últimos en los que se agrupan dolomias, calizas y sus intergradados calizo-dolomíticos. No obstante, la mayor diferenciación que existe entre los horizontes desarrollados sobre material calizo no se puede atribuir exclusivamente a la diferente actuación de la roca madre, ya que una actuación paralela de los demás factores conduce a una aproximación en las características de los horizontes superficiales, como es el caso de los horizontes Ah de los perfiles 11 y 16; al tiempo que suelos desarrollados sobre un mismo material pero bajo diferente vegetación presentan horizontes Ah con características más diferenciadas, como es el caso de los perfiles 11 y 13.

Por lo tanto, el menor índice de similitud existente entre los horizontes de los suelos desarrollados sobre material calizo no se puede atribuir únicamente a la mayor variabilidad del material original en comparación con las cuarcitas, sino que dicha variabilidad viene impuesta también por la actuación de los demás factores formadores que condicionan procesos más diferenciadores. Un hecho que viene a incidir en esta teoría es la existencia del grupo B2 en el que se incluyen horizontes muy diferentes entre sí y entre los demás horizontes estudiados y cuya formación responde a la intervención de procesos específicos como son: la fuerte acumulación de materia orgánica en el horizonte Ah del perfil 15, motivada por la presencia de caliza activa que la protege de la descomposición; la elevada relación AH/AF del horizonte Ah del perfil 12, debida probablemente a la intervención de la humificación abiológica como consecuencia de su orientación sur y finalmente la actuación de las "podredumbres blancas" que comunican unas características muy particulares al horizonte Ah del perfil 17 y que le hacen ser el más diferente de todos los horizontes estudiados.

Las diferencias que se establecen dentro de los horizontes de los suelos desarrollados sobre cuarcitas están basadas en primer lugar en la actuación de la vegetación que mediante el aporte de sus restos vegetales a la superficie del suelo provoca una diferenciación de sus horizontes en minerales y orgánico-minerales, y en segundo lugar en la naturaleza de dicha vegetación que establece dentro de los horizontes orgánico-minerales una diferenciación en base a que se formen bajo una vegetación natural o bajo una vegetación introducida. La intervención de la vegetación en la diferenciación de horizontes explica la homogeneidad existente entre los horizontes minerales en los que la influencia de dicha vegetación está minimizada.

RESUMEN

En el presente trabajo llevamos a cabo un análisis multivariante de los suelos de la Alguara. Se ha realizado considerando a los horizontes como muestras individualizadas a fin de establecer los distintos índices de similitud existentes entre ellos e

intentar explicar su evolución convergente o divergente a la luz de los distintos factores y procesos que condicionan su edafogénesis.

La naturaleza del material original juega un papel fundamental en la mayor o menor semejanza de los horizontes que sobre él se forman, dentro, por supuesto, de las variables seleccionadas. En el caso de materiales homogéneos como las cuarcitas, la similitud entre los horizontes es elevada y solamente la vegetación parece imponer ciertas diferencias entre ellos. Los materiales carbonatados, con una mayor variabilidad en sus propiedades físicas, químicas y mineralógicas, dan lugar a horizontes mucho más diferentes entre sí, diferencias que se ven incrementadas por la actuación de determinados procesos específicos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento al Dr. ALMENDROS (Inst. de Edafología y Biología Vegetal C.S.I.C. de Madrid) por la ayuda prestada en la realización de este trabajo.

BIBLIOGRAFIA

- BIDWELL, O. W.; MARCUS, L. F. and SARKAR, P. K. (1964). Numerical classification of soils by electronic computer. *Transact. 8th Int. Congr. Soil Sci.*, V, 933-942.
- COOLEY, W. W. and LOHNES, P. R. (1971). Multivariate data analysis. *J. Wiley Sons Inc. Pub.* New York.
- ETCHEVEHERE, P. H.; MURO, E. E. y OLMOS, J. E. (1971). Taxonomía numérica. Su aplicación en correlación de suelos. *Rev. Ing. Agrop. (INTA), clima y suelo*, VIII, 31-48.
- F.A.O.-U.N.E.S.C.O. (1974). Soil Map of the World, 1:5,000,000 vol. 1, Legend, Paris.
- F.A.O. (1977). Guía para la descripción de perfiles, Roma.
- FOUCOULT, A. et PAQUET, J. (1970). La structure de l'Ouest de la Sierra Arana (Prov. de Granada, Espagne). *C.R.Ac. Sc. Paris T.* 271, p. 16-19.
- GARCIA FERNANDEZ, I. (1983). Los suelos en el paisaje de la Alfacara (Sierra de Alfacar-Granada). *Tesis Doctoral de la Univ. de Granada, Fac. Ciencias Secc. Químicas*.
- GARCIA FERNANDEZ, I.; SIMON TORRES, M. y AGUILAR RUIZ, J. (1983). Contribución al estudio morfológico y evolutivo de los suelos desarrollados sobre dolomías kárxizadas en clima seco. *An. Edaf. Agrobiol.* XLII, 11-12, 1931-1947.
- GARCIA FERNANDEZ, I.; SIMON TORRES, M. y AGUILAR RUIZ, J. (1983). Contribución al estudio morfológico y evolutivo de los suelos desarrollados sobre coluvios calizos en clima xérico. *An. Edaf. Agrobiol.* XLII, 11-12, 1962-1976.
- GARCIA FERNANDEZ, I. y SIMON TORRES, M. (1984). Influencia del factor antrópico en la evolución de los suelos desarrollados sobre cuarcitas en clima xérico. *An. Edaf. Agrobiol.* XLIII, 3-4, 443-461.
- RIVAS MARTINEZ, S. (1982). Etages bioclimatiques, secteurs chorologiques et série de végétation de l'Espagne méditerranéenne *Ecologia Mediterranea*, t. 7 fasc. 8 (1-2), 275-284.
- TOUTAIN, F. (1974). Etude écologique de l'humification dans les hebraies acidiphiles. *Thèse Doct. Etar, Univ. Nancy I*, 144p.
- SIMON TORRES, M.; GARCIA FERNANDEZ, I. y AGUILAR RUIZ, J. (1984). Características morfológicas y analíticas de un suelo afectado por las "Podredumbres Blancas". *I Congr. Nac. de Edafol. Madrid*, 307-316.
- VALLE TENDERO, F. (1981). Contribución al estudio fitosociológico de las Sierras de Alfacar y Huétor (Granada). *Act. III. Cong. OPTIMA. An. Jard. Bot. Madrid*, 37 (2).

PRESENCE AND CHARACTERIZATION
OF *MICROCOCCUS LUTEUS* IN A BARE SOIL

By

M. A. SAGARDOY

RESUMEN

PRESENCIA Y CARACTERIZACION DE *Micrococcus luteus*
EN UN SUELO DESNUDO

Un estudio microbiológico, bajo condiciones de campo, fue realizado en Argerich (Provincia de Buenos Aires) entre Abril y Noviembre de 1979. Durante el mismo fueron aisladas 24 cepas de *Micrococcus luteus*. La susceptibilidad que presentaban esas cepas a diez agentes antimicrobianos fue establecida utilizando para ello una sola dosis de antibiótico (20 µg/ml). Quince de las cepas eran resistentes a uno o dos antibióticos y nueve eran sensibles a todos los agentes antimicrobianos utilizados. Un estudio de los tiempos de generación, entre las bacterias sensibles y resistentes a los antibióticos, mostró que las cepas sensibles tenían un tiempo de generación menor y altamente significativo ($P < 0,01$) respecto de las cepas resistentes a los agentes antimicrobianos estudiados. Cepas de *M. luteus* con distinta sensibilidad a los antibióticos, desarrollaban en forma similar en el suelo estéril. Además, dos cepas de *M. luteus* que provenían de distintos ambientes, medio de cultivo fresco y agua estéril, presentaron modelos similares de supervivencia cuando eran estudiadas en un mismo ambiente.

INTRODUCTION

Several workers have demonstrated that micrococci can be present in different environments such as food, water and soil (1, 8, 11, 16). It has been suggested, however, that these organisms represent an insignificant proportion of native soil microflora (6).

Ecological studies showed that soil pH has a marked effect on the growth of *Micrococcus* A34, and that unless naturally acidic soils were made alkaline they did not support the growth of the strain (10). More recently, it was reported that microbial predators were involved in the death of *M. luteus*, when cells of this bacterium were added to a natural soil (4).

Although much is known about the morphological and biochemical characteristics of *Micrococcus* spp., many aspects of survival of micrococci in soils are missing. With this in mind a field experiment was conducted in 1979, and part of the work performed out has recently been

reported (12). The present study is a continuation of that work and is concerned with: 1) the existence of, and the resistance to antimicrobial agents, of strains that correspond to the description of *M. luteus* in a bare silty loam soil, and 2) the ability of select strains of this bacterium to grow and survive in different environments.

MATERIALS AND METHODS

Three field plots (1.5 m x 1.5 m) were established in a bare silty loam soil (% clay = 22.8; % silt = 57.2; % organic matter = 3.4; % total N = 0.18; pH = 7.6) cleared of vegetation on November 1978 at Argerich, the experimental farm of the National University of the South, and from 2 April to 22 November 1979 soil samples were taken from the chosen plots at about monthly intervals. On each sampling occasion five random soil cores 5.0 cm x 12.0 cm deep were taken in each plot, and the five subsamples from each repetition were placed in a new polythene bag, sealed, and brought to the laboratory where they were mixed and passed through a sterilized sieve with a 2 mm mesh size.

Numbers of the viable aerobic bacteria were determined by the dilution plate method using Waksman's medium (15) and a 14-day incubation period at 25° C. For each soil sample two dilutions (10^{-4} and 10^{-5}) were plated with 10 plates/dilution. On each sampling occasion sixty plates with aerobic bacteria were investigated to separate the yellow colonies with the characteristics of the aerobic members of the *Micrococcaceae* (3).

All isolated strains were cultivated on Peptone-Yeast extract-Meat extract - Broth (PYMB) (Peptone 6.0 g; Yeast extract powder 3.0 g; Meat extract 1.5 g; distilled water 1 liter; pH = 6.8 - 7.0) containing 15% of agar (PYMA). The following tests were carried out: colony and cell morphology, cell size, Gram stain, catalase, oxidase, motility, Hugh Leifson O/F medium with 1% glucose, Voges-Proskauer, nitrate reduction, coagulase, gelatinase, phosphatase, ammonium from arginine broth, ammonium phosphate used as only source of N, growth on NaCl agar nutrient (5%, 10% and 15%), and acid from: maltose, lactose, arabinose, mannitol, xylose and glucose. All reactions were observed after incubation at 28° C, and an identification was made according to Baird Parker's criterion (2, 3). Any discrepancies in test results were resolved by repeating the tests. All chemicals were of analytical grade, and media and reagents were prepared according to standard procedures (9).

For the antibiotic test PYMA was used as a basal medium, and only one antibiotic concentration of 20 µg/ml was studied. Solutions of the antibiotics were freshly prepared in distilled water, with methanol used first to effect the dissolution of rifamycin SV, and then added to the molten agar at approximately 45° C. The antibiotics powders employed in this investigation, and their suppliers were as follows: sodium penicillin G, streptomycin sulfate, and rifamycin SV (Lepetit S.A.Q.I.C.); ampicillin, and calcium phosphomycin (Roux-Ocefa S.A.); chlorampheni-

col (Carlo Erba); kanamycin sulfate (Roemmers); sodium cephalothin and cephaloridine (Glaxo S.A.C.I.) and sodium amoxycillin (Beecham Argentina S.A.C.I.). Cell suspension were prepared by growing the micrococci in Peptone-Yeast extract-Meat extract-Broth (PYMB) at 28° C for 24 h and the response of organisms to the antibiotics was determined by adding approximately 1 x 10⁶ cells per plate before depositing the molten agar medium. The plates were incubated at 28° C until there was a moderate growth on the plates; 24 h were usually required. A bacterium was considered resistant to a specific antibiotic only if it grew as well on the antibiotic plate as on the control plate.

The ability of the isolated to grow in PYMB at 28° C was examined by placing 0,1 ml of actively growing cells, approximately 10⁶ bacteria per ml, into tubes containing 10 ml/tube of PYMB. Incubation was carried out at 28° C during 24-36 h and growth was measured at various time intervals using a photoelectric colorimeter, determining the absorbance at 550 nm. In order to compare growth rates constants per hour were calculated using the following equation (5):

$$\mu = \frac{2.303 (\log_{10} T_a - \log_{10} T_b)}{t}$$

where μ is the growth rate constant, T_a and T_b are the turbidities at two different time periods during exponential growth and t is the time interval in hours. Generation times were calculated according to the equation:

$$g = \frac{0,693}{\mu}$$

where g is the generation time in hours. All these studies were made in duplicate.

For studying the survival of micrococci in the sieved (2 mm) silty loam soil, test organisms which had been stored at 5° C were streaked onto plates of PYMA, checked for purity and transferred to PYMA slants. After incubation for 24 h at 28° C, the bacterial cells were suspended in 15 ml of sterile distilled water in 50 ml Erlenmeyers flasks. Cell aggregates were dispersed by agitating the suspensions with a magnetic stirring bar rotating at approximately 200 rev/min for 10 min. The concentration of cells was estimated using a McFarland's scale and the number of cells adjusted to approximate 10 x 10⁶ bacteria/ml. Immediately, 2,5 g of sterile soil holded in cotton plugged tubes (200 x 15 mm), was inoculated with 0.6 ml of this suspension. After inoculation, each soil sample was mixed and maintained at 20° C. In studies of the survival of micrococci in sterile tap water, tubes containing 9 ml of sterile tap water inoculated with 1 ml of the fresh bacterial suspension, approximately 10⁶ bacteria/ml, were also incubated at 20 °C for 2 weeks. Bacteria in the sterile soil were periodically counted using the dilution plate count technique and PYMA as culture medium. Five

replicate plates were prepared at each dilution and the experiment was performed in triplicate.

In studies concerned with the survival of isolated strains of cocci, in two different environments, two kinds of cells were used to inoculate both sterile soil and sterile tap water: 1) cells from a 12-hs culture in PYMB incubated at 28 °C (young cells), and 2) cells that survived in sterile tap water for 2 weeks at 20 °C (old cells). An inoculum of 0.6 ml of a washed cell suspension for each 2.5 g of dry sterile soil or 9 ml of sterile tap water was used to study the survival of the young and old cells at 20 °C. The inocula had an approximate cell concentration of: 10⁶ bacteria/ml (young cells) and 10⁴ organisms/ml (old cells), respectively. Cell populations from those two inoculated environments were periodically determined using the plate count method as described before. All these studies were made in triplicate.

In order to compare the generation times between antibiotic sensitive and antibiotic resistant cocci, a statistical analysis was performed considering an experimental design where two groups of cocci of unequal sizes were compared. A Student t-distribution was used to test the appropriate differences between means of the two groups of bacteria studied (14).

Chemical and physical analyses of the soil were performed using standard procedures (7).

RESULTS AND DISCUSSION

Over the entire study period, 24 Gram-positive micrococci were isolated from the bare silty loam soil, and their morphology, physiology, and biochemical characters were examined. The results are given in Table I. On 6 occasions our studies showed the presence of yellow cocci in the bare soil (dilution 10⁻⁴) (IV-2-79; IV-30-79; V-31-79; VI-25-79; VIII-31-79; X-29-79), and on three occasions the studies were negative (VII-30-79; IX-27-79; XI-22-79). Most of the cocci formed irregular clusters, and they did not grow at 45 °C, but they did in presence of nutrient agar containing 5 and 10 % of NaCl. Test for Hugh Leifson O/F medium were negative with all the isolated strains, and the cocci studied did not release detectable acid when different carbohydrates were investigated. Ammonium phosphate could be used as a sole source of nitrogen, but the cocci failed to produce ammonium from arginine, and also to reduce nitrate to nitrite. The strains were acetoin negative, and neither produced phosphatase or coagulase enzymes. Four of the 24 aerobic cocci hydrolysed gelatine. All the above mentioned information indicate that the isolated soil micrococci could be classified as members of the subgroup seven of Baird-Parker (*M. luteus*) (2, 3).

With respect to the micrococci antibiotic resistance, 15 strains were resistant to one or two antibiotics, and 9 strains were sensitive to the 10

TABLE I

Characteristics of group of Gram-positive micrococci isolated from the bare silty loam soil.*

Characteristics	Test response**
Gram stain	+ (100)
Morphology	cocci (100)
Catalase	+ (100)
Oxidase	- (100)
Motility	- (100)
Colony (yellow, smooth, convex, regular edge)	+ (100)
Size	
1-1.5 μm	+ (91)
> 1.5 μm	+ (9)
Acid from:	
Glucose (aerobic)	- (100)
Glucose (anaerobic)	- (100)
Arabinose	- (100)
Lactose	- (100)
Maltose	- (100)
Mannitol	- (100)
Xylose	- (100)
Voges-Proskauer	- (100)
Nitrate reduction	- (100)
Coagulase production	- (100)
Gelatinase	- (83,3)
Ammonium from arginine broth	- (100)
Growth at 45° C	- (100)
Growth	
5% NaCl	+ (100)
10% NaCl	+ (100)
15% NaCl	- (100)
Ammonium phosphate used as source of nitrogen	+ (100)
Phosphatase	- (100)

*A total of 24 strains was included in this study. Strains were derived from separate samples or represented different strains from the same sampled collected at the Argerich's bare silty loam soil during 1979.

**Numbers in brackets = % of isolated positive or negative.

antimicrobial agents used (Table II). Three strains showed resistance to chloramphenicol-phosphomycin, four were resistant to streptomycin, four were resistant to phosphomycin, and four were resistant to chloramphenicol. With respect to the microbial growth in PYMB it was determined that the antimicrobial resistant strains isolated had values ranging from 0.1382 and 0.4030 h^{-1} and antimicrobial sensitive strains had values ranging from 0.2590 and 0.5642 h^{-1} . For the sake of better

TABLE II

Antibiotic sensitivities, growth rate constants, and generation times of bacterial strains of M. luteus isolated from the bare silty loam soil.

Isolate N. ^o	Sampling date (1979)	Antibiotic sensitivity*	Growth rate constant (h^{-1})**	Generation time** (h)
40-3	IV-30	1	0.2251	3.08
29-1	V-31	1	0.2047	3.38
30-1	IV-30	1	0.2047	3.38
31-1	V-31	1	0.1777	3.90
33-3	VIII-31	2	0.1433	4.84
13-3	VIII-31	2	0.2395	2.89
12-3	VIII-31	2	0.2948	2.35
37-2	VIII-31	2	0.2533	2.73
16-2	VI-25	3	0.4030	1.72
22-1	VI-25	3	0.1382	5.02
17-2	X-29	3	0.2533	2.74
8-3	X-29	3	0.1689	4.10
12-2	IV-2	4	0.1612	4.30
1-2	IV-2	4	0.2015	3.44
6-2	IV-2	4	0.4030	1.72
8-1	IV-2	5	0.4836	1.43
31-2	IV-30	5	0.2590	2.68
15-3	V-31	5	0.4490	1.54
17-3	V-31	5	0.4606	1.50
11-2	VI-25	5	0.4145	1.67
15-2	IV-30	5	0.4836	1.43
33-2	IV-30	5	0.4030	1.72
13-1	X-29	5	0.3339	2.07
8-2	VIII-31	5	0.5642	1.23

*Numbers indicate that isolated strains were resistant to this group of antibiotics: 1 = streptomycin; 2 = chloramphenicol; 3 = phosphomycin; 4 = chloramphenicol and phosphomycin; 5 = sensible to the ten antibiotic studied.

**Mean values two replicates in Peptone-Yeast extract powder-Meat extract-Broth (PYMB) incubated at 28° C.

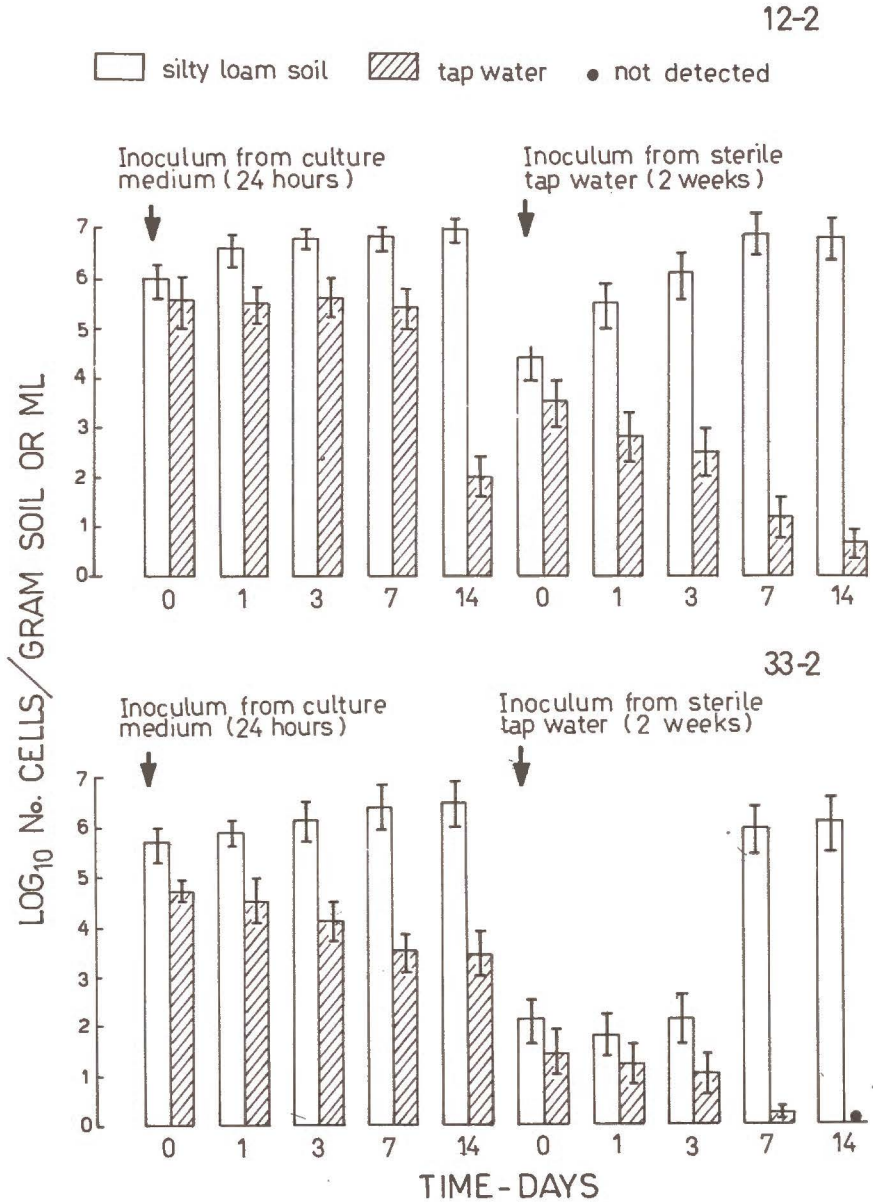


Fig. 1.—Viability of *Micrococcus luteus* 12-2 and *M. luteus* 33-2 at 20° C in sterile silty loam soil and sterile tap water, using as inocula cells harvested from two different habitats (Peptone-Yeast extract powder-Meat extract-Broth and sterile tap water, respectively). Vertical line represent the standard deviation.

comparisons, the exponential growth rate constants are given in Table II. Statistical comparison of the generation times between the antibiotic sensitive and antibiotic resistant micrococci showed that the sensitive strains possessed a highly significant shortest generation times ($P < 0.01$). These results demonstrate that even for the members of a well defined group of soil micrococci the vitality or growth intensity of the microbial strains can be different under identical environmental conditions, and also that this kind of implicit factor can be related to the antibiotic sensitivity of the strains. These results are in agreement with recent studies (13).

With respect to the survival in the sterile silty loam soil, five typical strains of these soil micrococci were elected to obtain information concerning the ability of these organisms to grow in the sterile soil from which they were isolated. The results are given in Table III, and show that an increase between 2.4 and 3.5 times in the numbers of the micrococci added to the soil was observed in 14 days. The data also show that all the organisms used reacted in the same way, suggesting that strains of *M. luteus* with different antibiotic susceptibility could grow in similar microenvironments in the soil studied.

TABLE III

Growth of bacterial strains of M. luteus in a sterile silty loam soil.*

Time (days)	Bacterial nos. per g oven dry soil ($\times 10^{-6}$)				
	Strains of <i>M. luteus</i> added to the soil				
	40-3	13-3	22-1	12-2	13-1
0	4.0(0.2)**	2.2(0.5)	4.9(0.5)	4.5(0.3)	2.1(0.2)
1	7.3(0.3)	4.4(0.4)	8.1(0.4)	4.9(0.3)	3.5(0.3)
3	7.3(0.4)	4.9(0.5)	8.8(0.5)	6.4(0.5)	5.5(0.2)
7	7.8(0.6)	6.6(0.4)	10.0(0.4)	7.0(0.4)	6.8(0.4)
14	12.3(0.5)	6.6(0.6)	12.1(0.6)	10.2(0.3)	7.7(0.3)

*Incubated at 20° C.

**Mean values of three replicates. Numbers in parentheses indicate standard errors.

The results of the viability of bacterial strains in two different environments using as inocula cells harvested from two different origins is shown in Fig. 1. Neither of the strains investigated, *Micrococcus luteus* 12-2 and *M. luteus* 33-2, showed similar behaviour in the two habitats investigated. In the sterile soil, the number of viable cells increased during the two weeks of study, showing that the soil carrying capacity for these two strains was similar in the conditions under which this study

was carried out. By contrast, the number of these inoculated bacteria fell with time in the sterile tap water, showing that a decline in the strains viability occurs in a poor nutrient environment. These data demonstrated that bacterial strains of *M. luteus* harvested from two different habitats, fresh culture medium and sterile tap water, presented the same viability pattern when grown in a particular environment such as sterile soil or in sterile tap water.

SUMMARY

24 Gram-positive micrococci were isolated from a bare soil at Argerich (Province of Buenos Aires) between April and November 1979. The morphological, physiological, and biochemical characteristics of these strains were studied. The data obtained permitted the identification of the isolated bacteria as strains of *Micrococcus luteus*. Tests for susceptibility to 10 antimicrobial agents at a concentration of 20 µg/ml were carried out using the isolated soil bacteria. Nine of the strains were sensitive to all the antimicrobial agents studied. A statistical comparison of the generation times between the antibiotic sensitive and antibiotic resistant micrococci showed that the sensitive strains possessed a highly significant shortest generation times ($P < 0.01$). It is concluded that the strains of *M. luteus* with different antibiotic susceptibility could grow in similar microenvironments in the studied soil, and that bacterial strains that were harvested from two different habitats, fresh culture medium and sterile tap water, could present the same viability pattern when grown in a particular environment.

*Departamento de Agronomía, Universidad Nacional del Sur.
8.000 Bahía Blanca, Argentina.*

REFERENCES

- (1) BAIRD-PARKER, A. C. 1965. The classification of staphylococci and micrococci from world-wide sources, *J. Gen. Microbiol.*, 38, 363.
- (2) BAIRD-PARKER, A. C. 1966. Methods for classifying staphylococci and micrococci. In: *Identification methods for microbiologists*, part A, page 59. Gibbs, B. M. and Skinner, F. A. (Eds.), *Academic Press, London*.
- (3) BAIRD-PARKER, A. C. 1974. *Micrococcaceae*. Bergey's Manual of Determinative Bacteriology. 8th Edition. Buchanan, R. E. and Gibbons, N. E. (Eds.), *Williams and Wilkins, Baltimore*.
- (4) CASIDA, L. E. 1980. Bacterial predators of *Micrococcus luteus* in soil. *Appl. Environ. Microbiol.*, 39, 1035.
- (5) FERRONI, G. D. and KAMINSKI, J. S. 1980. Psychrophiles, psychrotrophs, and mesophiles in an environment which experiences seasonal temperature fluctuations. *Can. J. Microbiol.*, 26, 1184.
- (6) GOODFELLOW, M. 1968. Properties and composition of the bacterial flora of a pine forest soil. *J. Soil Sci.*, 19, 154.
- (7) JACKSON, M. L. 1970. Análisis químico de suelos. Segunda edición. *Ediciones Omega S. A., Barcelona*.
- (8) LeCHAVALIER, M. W., SEIDLER, R. J. and EVANS, T. M. 1980. Enumeration and characterization of standard plate count bacteria in chlorinated and raw water supplies. *Appl. Environ. Microbiol.*, 40, 922.
- (9) LENNETTE, E. H., BALOWS, A., HAUSLER, W. J., Jr., and TRUANT, J. P. 1980. Manual of clinical microbiology. Third Edition. *American Society for Microbiology, Washington*.

- (10) LOWE, W. E. and GRAY, T. R. G. 1973. Ecological studies on coccoid bacteria in a pine forest soil. II. Growth of bacteria introduced into soil. *Soil Biol. Biochem.*, 5, 449.
- (11) MUNEZ, M. et MEDINA, M. 1980. Les microcoques et les staphylocoques dans le fromage bleu de Cabrales. *Le lait*, 60, 171.
- (12) SAGARDOY, M. A. 1981. The numbers of *Rhizobium meliloti* and other soil bacteria as influenced by soil aggregate sizes. *An. Edafol. Agrobiol.*, 40, 995.
- (13) SLATER, J. H. and GODWING, D. (1980). Microbial adaptation and selection. In: *Contemporary microbial ecology*, pages 137-160. Ellwood, D. C., Hedger, J. N., Latham, M. J., Lynch, J. M. and Slater, J. H. (Eds.). *Academic Press, New York*.
- (14) STEEL, R. G. D. and Torrie, J. H. (1960). Principles and procedures of statistics. *Mc. Graw-Hill Book Co. Inc., New York*.
- (15) WAKSMAN, S. A. (1922). Microbiological analysis of soil as an index of soil fertility: II. Methods of the study of numbers of microorganisms in the soil. *Soil Sci.*, 14, 283.
- (16) WELCH, A. A. and MAXCY, R. B. (1979). Significance of hemolytic activity of some radiation-resistant micrococci in food. *Appl. Environ. Microbiol.*, 38, 902.

Recibido para publicación: 2-X-85.

SOIL MANagements AND USE OF ^{15}N -LABELLED FERTILIZER FOR WHEAT IN SEMIARID ARGENTINA. 2*

Por

R. A. ROSELL y R. M. MARTINEZ

Laboratorio de Humus y Biodinámica del Suelo (UNS-CERZOS)
8000 Bahía Blanca, Argentina

K. CH. SOMMER

Agrikulturchemisches Institut, Universität Bonn
53 Bonn 1, West Germany (BRD)

RESUMEN

MANEJOS DEL SUELO Y USO DE FERTILIZANTES MARCADOS CON ^{15}N EN TRIGO DE LA REGION SEMIARIDA DE ARGENTINA. 2.

En virtud de que el nitrógeno es un insumo agrícola costoso en países en vías de desarrollo con áreas semiáridas extensas, se estudió su ciclo suelo-planta y el uso eficiente empleando fertilizantes marcados con ^{15}N en experimentos de campo desde el año 1980. El estudio comprendió varias fechas de aplicación fraccionadas y la absorción y la recuperación del ^{15}N del fertilizante nitrogenado por plantas de trigo sembradas en suelos sometidos a dos manejos usados en la región semiárida de Argentina. También se proporcionó información sobre el rendimiento y el contenido proteico del trigo. En este informe se presentan los datos obtenidos en el ciclo agrícola 1983.

Los tratamientos de campo se efectuaron con microparceladores de chapa de acero de $0,1\text{ m}^2$ de superficie enterrados en el suelo y distribuidos en bloques al azar. Se utilizaron dos manejos de suelo y cuatro aplicaciones parciales de dos niveles de nitrógeno.

La absorción de nitrógeno y la productividad del trigo mostraron la influencia de los tratamientos y las condiciones climáticas anuales de acuerdo con:

- *El efecto del manejo del suelo previo a la siembra*: a mayor longitud de barbecho mayor absorción de nitrógeno, rendimiento y producción de proteína por superficie y recuperación del N del fertilizante por la planta.
- *El efecto de las aplicaciones fraccionadas de N*: la aplicación de nitrógeno produjo un rendimiento de grano más elevado ($P \leq 0,05$) que los testigos en ambos manejos de suelo.
- *El efecto de la distribución de la precipitación y de la humedad edáfica*: el porcentaje de proteína del grano de trigo no mostró diferencia entre manejos, tratamientos nitrogenados y testigos, tendiendo a mantenerse constante como consecuencia del período seco ocurrido desde espigazón a madurez del cultivo. Este hecho no fue observado en años anteriores.

* Program supported by the Argentine Science and Technology Secretary (SECyT), research grant 100 32405-016 (Res. 387/83).
 ^{15}N chemicals were provided by the Alexander von Humboldt-Stiftung, Federal Republic of Germany.

INTRODUCTION

The need to increase food production has made it essential to expand the so-called "agricultural frontiers" to semiarid regions. Unfortunately low rainfall is accompanied by low soil nitrogen levels.

Since nitrogen is a very expensive agricultural input, its soil-plant cycle and efficient use are being studied using ^{15}N -labelled fertilizers in field experiments since 1980.

In previous reports (Rosell *et al.*, 1982, 1984) the use of nitrogen fertilizers by wheat in areas with low and erratic patterned rainfall, such as Cabildo, near Bahía Blanca, Argentina, in the years 1980 and 1982 have been informed. In that region, responses by wheat to nitrogen and, sometimes, to phosphorus fertilizers depend mostly on uncontrolled factors, mainly rainfall.

In 1983 general climatic conditions were apparently better than average for producing winter wheat. However, the rainfall distribution was not optimal, since the critical period from heading to maturity had an amount of only 21 mm. Consequently, since soils are less than 80 cm deep, the use of late-applied nitrogen by the plant had a relatively low efficiency.

Soil nitrogen and moisture accumulated by fallowing the soil prior to seeding is a widely employed agricultural practice used to compensate the aforementioned uncontrolled factors. This and other procedures were included in these experiments.

The study covered several N split application dates, uptake and recovery of ^{15}N -labelled fertilizers by wheat plants from soils submitted to two management practices used widely in semiarid Argentina. Yield and grain quality data are also given. The results obtained in 1983 are reported here.

MATERIALS AND METHODS*

Site characterization

The experiments were established in farms near Cabildo, approximately 30 km NE of Bahía Blanca ($38^{\circ} 44' \text{ S}$; $62^{\circ} 11' \text{ W}$), Province of Buenos Aires, Argentina. Mean annual precipitation in the site is 653, 5 mm (average from 1952 to 1983) being distributed as indicated in Table I.

Mean annual temperature and potential evapotranspiration according to Thornthwaite are, respectively, $15,3^{\circ}$ and 794 mm in Bahía Blanca (Donnari and Torre, 1970). However, a more reliable calculation of potential evapotranspiration of ca. 1500 mm per year using the Penman procedure modified by Doorenbos and Pruitt (1976) was obtained.

TABLE I

Rainfall (mm) in Cabildo, Argentina

APROXIMATE PERIOD AND GROWTH STAGE						
Year	Jan. to June (seeding)	Jul. to Sept. 10 (seed. to tiller.)	Sept. 10 to Oct. 31 (tiller. to head)	Nov. 1 to Dec. (head. to matur.)	Total	Remark
1980	419	105	55	82	661	Normal
1981	421	12	58	64	555	dry
1982	530	118	137	60	845	humid
1983	452	71	146	21	690	atypical
AVERAGE OF 31 YEARS (1952-1983)*						
Type of Distribution Function	Jan. to June	Jul. to Sept.	Oct.	Nov. to Dec.	Total	
Normal	353,5	102,9	70,1	127,0	653,5	
Cubic root	336,7	83,1	56,3	105,8	581,9	

* Computer programme and data were provided by Ing. Agr. R. Vázquez from the Hydrology and Irrigation Area, Universidad Nacional del Sur.

TABLE II

NO₃-N at seeding time and available water content (AWC) to 60 cm in the soils. Year 1983.

Soil Depth cm	MANAGEMENTS					
	Ch			Ra		
	NO ₃ -N		AWC mm	NO ₃ -N		AWC mm
ppm	Kg.ha ⁻¹	ppm		kg.ha ⁻¹		
0-20	13.1	37*	22.5	17	47	25.9
20-40	8.3	23	19.5	11	30	22.3
40-60	9.8	27	13.0	17	47	23.5
TOTAL		87	55.0		124	71.7

* Values obtained by using an average bulk density of 1.4 g.cm⁻³

Soils are typical Argiustols, loam to fine sandy loam textured, with a calcareous hardpan ("caliche layer") 60 to 80 cm deep. Soil analysis (Rosell, *et al.*, 1982) showed low phosphorous concentrations of about 4 to 6 ppm P according to Bray-Kurtz method. Nitrate-N levels in the profiles were 87 and 124 kg N.ha⁻¹ at seeding time, respectively, in the Ch and Ra managements as shown in Table II.

Soil managements

Two commonly-used soil managements of the semiarid region were evaluated:

- Ch (chacra)-management, a sequence of wheat (1st year), annual natural pasture with grazing (2nd year) and a 2-3 months Fall fallow before seeding again (3rd year) or W - P -W.
- Ra (rastrojo)-management, a within-a-year sequence of wheat and a long (ca. 6 months) Summer-Fall fallow or W-W. This management is also called "wheat after wheat".

Experimental procedures

Wheat (*Triticum aestivum*) cv. Cooperación Cabildo, a breed of local and Mexican lines, was seeded manually in rows 17 cm apart at a density of 235 seeds. m⁻² on June 30, 1983. Final plant stand was 23 seedlings per 0.1 m⁻² after thinning.

Phosphorous as a triple superfosphate was row-applied at a rate of 60 kg P₂O₅.ha⁻¹ at seeding time in all treatments.

The experiment was established in randomized blocks with four replications.

Square metallic microplot of 32 cm by 32 cm (ca. 0.1 m² of surface area) and 23 cm depth, used for confining the area to be fertilized with urea 10 percent atom excess ^{15}N , were pressed into the ground with minimal soil disturbance.

Nitrogen as urea was overcasted and splitted at a total rate of 60 Kg N.ha⁻¹ in four treatments:

T (testigo), check plot

SM (siembra-macollaje), 30 kg N.ha⁻¹ at seeding and 30 kg N.ha⁻¹ at tillering

M (macollaje), 60 kg N.ha⁻¹ at tillering

ME (macollaje-espigazón), 30 kg N.ha⁻¹ at tillering and 30 kg N.ha⁻¹ at the beginning of heading.

At seeding time the urea fertilizer was mixed with the top soil. Later applications were overcasted between plant rows.

Harvesting and nitrogen analysis

Wheat plants were cut 1-2 cm above ground at maturity.

Straw and grain were separated, dried at 65°C, weighed and ground with a Wiley mill.

Total plant nitrogen was determined in duplicate samples with the Kjeldhal method. $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ ratios were obtained from the ammonium distillates by emission spectroscopy with a Q 24-Zeiss Spectrograph as described by Sommer and Kick (1966). ^{15}N determination were run in 4 replicates.

The amount of ^{15}N recovered was obtained from the dry weight of the respective plant part, N percent in such part and the ^{15}N percent in the distillates of the total N determination.

RESULTS AND DISCUSSION

Plant N uptake

Table III shows the soil and ^{15}N ure nitrogen uptake by wheat tops in the two management systems and fertilizer application times studied.

The Ch-management had statistically lower ($P \leq 0.05$) soil nitrogen uptake (N pool) than the Ra-management, a result also observed in 1980 and 1982 (Rosell *et al.*, 1982 and 1984). No differences between N treatments within each management were shown.

The nitrogen derived from fertilizer (Ndff) as well as the respective percentage (% Ndff) were significantly higher ($P \leq 0.05$) in the early N treatments (SM and M) than in the late one (ME) in both managements. This is a feature related to yield response and grain protein content being a consequence of rainfall distribution during the vegetative and productive cycles, which is discussed later.

As in previous years, the total N-uptake shows the positive effect of the soil Ra-management and the nitrogen fertilization. Even the check

TABLE III

Nitrogen uptake by wheat tops (mg N x 0.1 m⁻²) Year 1983.

Plant part	TREATMENTS							
	Ch (W-P-W)				Ra (W-W)			
	T	SM	M	ME	T	SM	M	ME
N derived from the soil (N pool)								
Straw	114	181	182	194	279	346	315	305
Grain	376b*	402b	449b	412b	722a	804a	799a	750a
Total	490	583	631	606	1001	1150	1114	1055
N derived from fertilizer (Ndff)								
Straw	—	20	21	18	—	43	42	26
Grain	—	76d	91c	66d	—	161a	110b	91c
Total	—	96c	112c	84d	—	204a	152b	117c
Total N-uptake								
	490e	679d	743d	690d	1001c	1354a	1266ab	1172b
Ndff, percent								
	—	14a	15a	12b	—	15a	12b	10c

* Means on each line followed by the same letter do not differ significantly (Duncan's multiple range test, 0.05).

plot (T) of the Ra-management had significantly higher ($P \leq 0.05$) N-uptake than any of the N treatments of the Ch-management, indicating that the long fallow period accumulated substantial amounts of available N as shown in Table III.

Fertilizer N recovery and soil N "priming effect"

Table IV indicates that the recovery percentage of the fertilizer nitrogen by the wheat and tops was significantly higher in the Ra-management than in the Ch-management in each time N treatment. This also shows a better efficiency of the Ra-management in obtaining the foreign source of nitrogen.

The highest N fertilizer recovery was 34 percent in the Ra-SM treatment. The generally low recovery values observed, specially in the later N treatments, may be a consequence of the low rainfall during the hea-

ding to maturity (November 1st to harvest) cycle which reached only 21 mm coupled with the low water holding capacity of the soils (AWC in Table II) and the high evapotranspiration of this period (*effect of moisture pattern*).

Figure 1 graphics the data from Tables III and IV. A soil N "priming effect" in all nitrogen treatments can be seen. The "priming effect" of fertilizer N is defined as an extra soil N removed by the crop over the check plot or no-N treatment. Due to an inefficient water use, a negative "priming effect" was observed during the 1980 growing season. On the contrary, a positive effect was obtained in the year 1982, which was considered a very humid year (annual precipitation reached 845 mm with 197 mm falling from September 10 or mid tillering to maturity, in the second fortnight of December).

Effect of soil management, N treatment and moisture on wheat productivity

Table V shows data on straw and grain yield, total nitrogen and protein contents and harvest index of winter wheat cv. Cooperación Cabil-do.

Grain yields in the N treatments (including the check plot) of the Ra-management were significantly higher ($P \leq 0.05$) than the different treatments of the Ch-management (*effect of soil management*).

Within each soil management, the statistically highest yields were obtained in all the N treatments as compared with the no-N treatment (*effect of treatment*).

Nitrogen contents is discussed with grain protein. The percentage of protein is useful for grading commercially the grain. The ME treatment of the Ch-management had the significantly highest ($P \leq 0.05$) percentage of grain protein (12.4 percent). The low precipitation (less than 21

TABLE IV

Recovery percentage of fertilizer nitrogen taken up by wheat tops. Year 1983.

Plant part	TREATMENTS							
	Ch (W-P-W)				Ra (W-W)			
	T	SM	M	ME	T	SM	M	ME
Straw	—	3.3	3.5	3.0	—	7.2	7.0	4.3
Grain	—	12.6	15.2	11.0	—	26.8	18.3	15.2
Total	—	15.9d*	18.7c	14.0d	—	34.0a	25.3b	19.5c

* Means on each line followed by the same letter do not differ significantly (Duncan's multiple range test, 0.05).

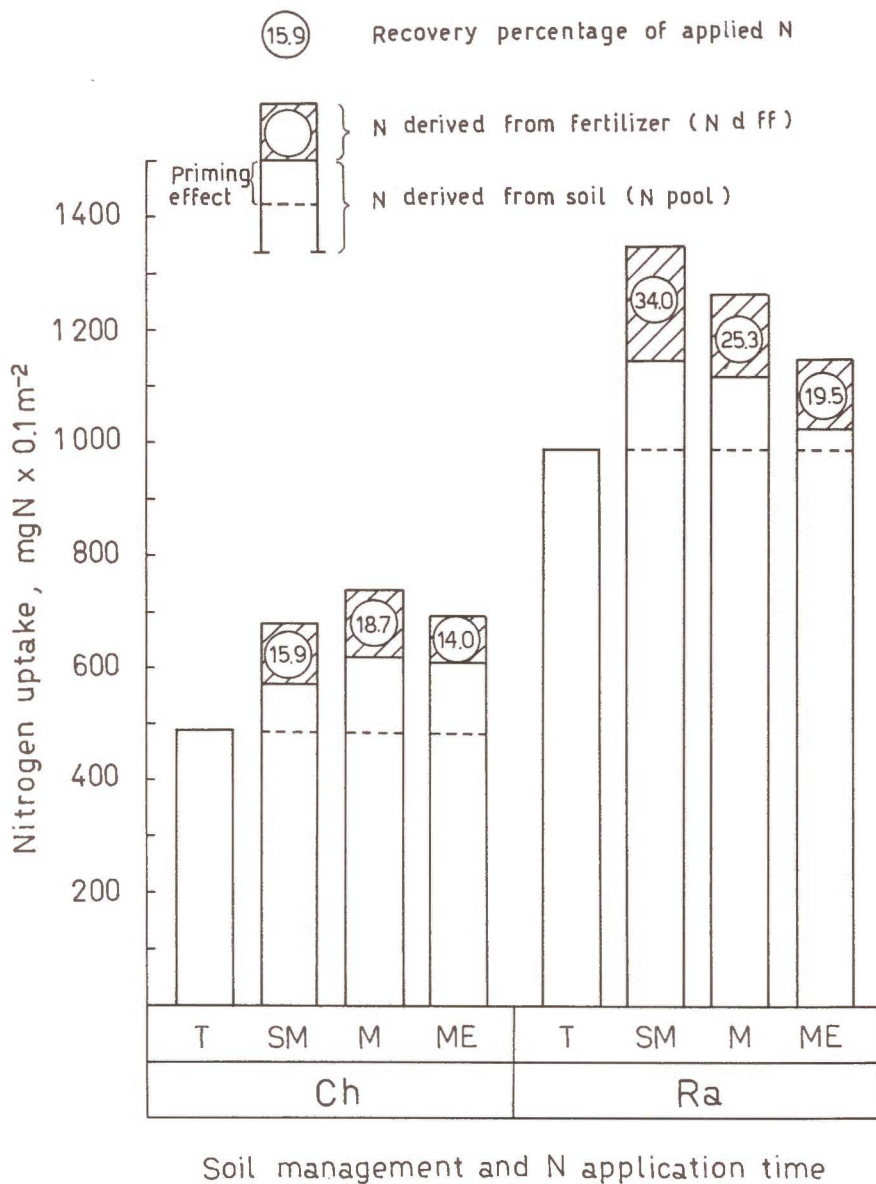


FIG. 1.—Nitrogen uptake by N-fertilized wheat tops grown under different soil managements and nitrogen application times. Year 1983.

TABLE V

Yield, Nitrogen and protein contents and harvest index of wheat cv. Cooperacion Cabildo fertilized with 60 kg N.ha⁻¹ at various growth stages under different soil managements, Year 1983.

Plant Part	TREATMENTS							
	Ch (W-P-W)				Ra (W-W)			
	T	SM	M	ME	T	SM	M	ME
	Yield, g x 0.1 m ⁻²							
Straw	32.4	52.6	51.6	48.4	81.3	102.7	100.5	98.7
Grain	19.4d*	23.7c	26.5c	21.9c	38.8b	46.2a	45.8a	42.1a
	Nitrogen content, % N							
Straw	0.34	0.37	0.39	0.42	0.34	0.36	0.35	0.33
Grain	1.94	2.02	2.04	2.18	1.86	2.09	1.98	2.02
	Protein percentage, % N x 5.7							
Grain	11.1c	11.5c	11.7bc	12.4a	10.6c	11.9ab	11.3bc	11.4bc
	Protein production, g x 0.1 m ⁻²							
Grain	2.15c	2.72c	3.10c	2.71c	4.15b	5.47a	5.17a	4.80a
	Harvest index							
	0.37	0.31	0.34	0.31	0.32	0.31	0.31	0.30

* Means on each line followed by the same letter do not differ significantly (Duncan's multiple range test, 0.05).

mm) fell between heading and maturity produced no significant changes in protein concentration in the different treatments of both managements probably due to slow mineralization and absorption of the late-applied fertilizer N. It can be observed a rather constant and higher than 10.5 percent of grain crude protein as a consequence mostly of moisture stress. This effect was also reported by Hutcheon and Paul (1966), and Campbell *et al.* (1977).

The protein production per surface area showed the importance of the soil managements and the N treatments. Protein production was significantly higher ($P \leq 0.05$) in the Ra-management (*effect of management*) and in the N treatments (*effect of N application*) within each ma-

agement than in the Ch-management and in each check plot, respectively. No significant differences of the time of application of N on protein production within each management were observed. However, it must be noticed that, as in previous years, the amount of protein harvested in the Ra-management almost doubled the one obtained in the treatments of the Ch-management. The Ra-management check plot was significantly higher ($P \leq 0.05$) than the N-treatments of the Ch-management (very strong *effect of soil management*).

Table V shows undoubtedly the strong effects of soil management and nitrogen application on wheat grain and crude protein yields, as was demonstrated previously, (Rosell *et al.*, 1982). During 1983 no important differences on grain crude protein percentages were observed due possibly to scarce rainfall in critical periods (*effect of moisture pattern*). This fact was confirmed by the low recovery of fertilizer N shown in the late N treatments (Table IV).

Once again, rather low harvest indexes between 0.31 and 0.37 were obtained. Further research on plant genetics, soil-moisture management, fertilizer placement, and fate and tendencies of organic matter levels are needed.

CONCLUSIONS

The nitrogen uptake and productivity data of wheat grown near Cabildo, Argentina, during 1983 showed the strong influence of the annual climatic conditions, when compared with previous studies. At the same time, certain constant patterns regarding soil management and N fertilization, or man-controlled factors in a semiarid region, were observed. Those are:

Effect of the soil management previous to seeding:

The six-month long fallow period (Ra-management) accumulated moisture (available water content ca. 72 mm) and 124 kg N.ha⁻¹ in the 0-60 cm soil depth which allowed wheat plants to have a higher ($P \leq 0.05$) N uptake and grain weight and protein per surface area than the Ch-management with a much shorter fallow span. The Ch-management soils had an available water content of 55 mm and 87 kg N.ha⁻¹ at seeding time.

Fertilizer N recovery by the plant was also higher in the Ra-management (19.5 to 34.0 percent) than in the Ch-management (14.0 to 18.7 percent).

Effect of split N application:

N applications gave significantly higher ($P \leq 0.05$) grain yields, with no differences among them, than the check plots in both soil managements. The same fact was observed for protein production in the Ra-management; but no differences were registered in the Ch-management.

Effect of rainfall and soil moisture pattern:

As it was mentioned, 1983 was a climatic atypical year for optimal cereal production because it had a very dry spell (21 mm) from heading time to maturity (November 1st to middle of December) of the crop. The rather low soil water holding capacity makes moisture availability very dependent on actual or instant precipitation due to earlier consumption. Therefore, the protein percentage, which in previous years was strongly influenced by the late (ME) nitrogen application accompanied of a minimum of 60 mm rainfall from November first and a consequent urea mineralization, was, in the circumstances reported here, no different among N treatments. Hucklesby *et al.*, have shown that the increase in percentage grain protein is a function of the date of nitrogen application and availability. Hutcheon and Paul (1966) found that in the protein range from 11 to 16 percent it was possible to increase both protein and yields concurrently. Moderate moisture stresses during the plant growing cycle resulted in maximum efficiency of water use by Thatcher wheat in growth chambers. Further research and information on moisture stress during the different growing stages for field-grown wheat in the Argentine semiarid pampas should be intensified.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors are grateful to Ingeniero Agrónomo Rubén MIRANDA for giving field assistance under the terms of the Asociación de Cooperativas Argentinas (ACA), Universidad Nacional del Sur (UNS) agreements; to PETROSUR S. A., Bahía Blanca, Argentina for contributing the non-labelled fertilizers; and to ACA for providing laboratory chemicals.

ABSTRACT

Since nitrogen is a very costly agricultural input in developing countries with extensive semiarid areas, its soil-plant cycle and efficient use were studied using ^{15}N -labelled fertilizers in field experiments since 1980. The study covered several N split application dates, uptake and recovery of ^{15}N -labelled fertilizers by wheat plants from soils submitted to two management practices used in semiarid Argentina. Yield and grain quality data are also given. The results obtained in 1983 are reported here.

The field treatments were carried out with 0,1 m² - square metallic microplots pressed into the soils and distributed in randomized blocks. Two soil managements and four time-split applications of two levels of nitrogen were used.

The nitrogen uptake and productivity data of wheat grown near Cabildo, Province of Buenos Aires, Argentina, showed the influence of the treatments and the annual climatic conditions. The main influences were produced by:

— *The effect of soil management previous to seeding*: the longer the fallow period before seeding, the higher the N plant uptake, the grain yield, the protein production per unit area and the fertilizer N recovery by the plant.

- *The effect of split N applications*: the N applications produced higher grain yields ($P \leq 0.05$) than the check plots in both soil managements.
- *The effect of rainfall and soil moisture pattern*: the protein percentage of wheat was not different among N treatments and tended to be rather similar in both managements as a consequence of a dry period from heading time to maturity. This fact was not observed in previous years.

REFERENCES

- CAMPBELL, C. A., DAVIDSON, H. R. and WARDER, F. G. 1977. Effects of fertilizer N and soil moisture on yield, yield components, protein content and N accumulation in the aboveground parts of spring wheat. *Can. J. Soil. Sci.*, 57, 311-327.
- DONNARI, M. A. y TORRE, L. 1974. Análisis de algunos aspectos del clima de Bahía Blanca. Departamento de Geografía, Universidad Nacional del Sur, 8000 Bahía Blanca, Argentina, 32 pp.
- DOORENBOS, J. and PRUITT, W. D. 1976. Las necesidades de agua de los cultivos. Estudio FAO: Riego y Drenaje, 24, 194 pp.
- HUCKLESBY, D. P., BROWN, C. M., HOWELL, S. E. and HAGEMAN, R. H. 1971. Late spring application of nitrogen for efficient utilization and enhanced production of grain and grain protein of wheat. *Agron. J.*, 63, 274-276.
- HUTCHEON, W. L. and PAUL, E. A. 1966. Control of the protein content of Thatcher wheat by nitrogen fertilization and moisture stress. *Can. J. Soil Sci.*, 46, (2), 101-108.
- ROSELL, R. A., MARTINEZ, R. M., SOMMER, K. and MIRANDA, R. 1982. Relationship of crop rotation and nitrogen availability for wheat in semiarid Argentina. *Plant Nutrition 1982: Proceed. of the Ninth Intern. Plant Nut. Colloquim, Commonwealth Agric. Bureaux*, vol. 2, 551-558.
- ROSELL, R. A., MARTINEZ, R. M. and SOMMER, K. 1984. Soil-crop managements and nitrogen availability for wheat in semiarid Argentina. *Proceed. of the VIth Intern. Colloquium for the Optimization of Plant Nut., Montpellier, France, Sept. 2-8, vol. 2, 539-546.*
- SOMMER, K. and KICK, H. 1966. Auf eine Eichkurve bezogene emissions spektrographische ^{15}N -Bestimmung mit dem Spektographen Q 24-Zeiss, *Zeitschrift für Analytische Chemie*, 220, Band 1, 21-26.

Recibido para publicación: 30-V-85.

CONTRIBUCION AL CONOCIMIENTO DE LA UTILIZACION DEL AGUA DEL SUELO POR LAS ESPECIES FORESTALES (*QUERCUS ROBUS* Y *PINUS PINASTER*) BAJO CLIMA TEMPLADO HUMEDO

Por

A. PAZ GONZALEZ y F. DIAZ-FERROS VIQUEIRA

Departamento de Edafología, Facultad de Farmacia, Universidad de Santiago

SUMARY

AVAILABLE SOIL WATER BY FOREST SPECIES (*QUERCUS ROBUR* AND *PINUS PINASTER*) IN TEMPERATE-HUMID CLIMATE

Intercepted rainfall by two woodland species (*Quercus Robur* and *Pinus Pinaster*) near Santiago de Compostela (Spain) for a wet year (1825 mm) is analyzed. Interception rate is significantly related with gross rainfall intensity and forestry canopies, being a important term, usually great that 25% of the maximum possible water flux to the atmosphere. Potential total evaporation rate by Penman-Monteith model (1965) was estimated and it concluded that water loss by the *Quercus* stand is lower as in the *Pinus* site and these difference increase over the rainy years. On the other hand the above reported data are compared with potential evapotranspiration taking place by grass and this is found to be lower as in forest species.

Actual evapotranspiration was computed using the numerical model described by Nimah and Hanks (1973) and when compared with previous results from experimentally measured of the soil moisture profiles, a good agreement between simulated and measured data was demonstrated. Over the studied year, the reduction of water uptake amounted to be 22% of the potential maximum by *Quercus* and 24 % by *Pinus*. In another year (1368 mm) reduction values the 46% and 44% respectively are computed, and likewise it was shown that a grass cover increased water flow to the botton of soil layers with regard to forestry species.

INTRODUCCION

Así como el estudio de los consumos de agua del suelo por especies de pequeño porte tienen ya una cierta tradición en España (véanse sobre todo "Avances en la investigación en Bioclimatología", 1978, 1981 y 1985), los estudios de los consumos de agua por especies susceptibles de aprovechamiento forestal son practicamente inexistentes, pese a que en algunas zonas, como es el caso de Galicia, el bosque llega a ocupar más del 30% de la superficie total. Las dificultades que desde un punto de vista experimental se pueden plantear a este tipo de trabajo se podrían resumir en los siguientes puntos:

a) La dificultad de aplicar las clásicas fórmulas de la demanda atmosférica de agua (p. e. Monteith, 1965) para las que se exige datos de albedo y de resistencias aerodinámicas e internas y de las que, solo recientemente, se dispuso de medidas de estos parámetros para las especies forestales.

b) La variabilidad natural de las propiedades hidrodinámicas en los suelos forestales que, es mucho mayor en términos generales, que la de los suelos de cultivo, resultando en consecuencia difícil de obtener datos de perfiles hídricos, o establecer funciones $K(\theta)$ y $\psi(\theta)$ bajo vegetación arbórea, de una cierta garantía.

c) La metodología para el estudio de los diversos términos de la ecuación del balance hídrico de las áreas forestales es más compleja que la correspondiente a zonas agrícolas, tanto si aquellos se determinan por técnicas microclimáticas, como por lisimétricas, o mediante perfiles de humedad.

En la actualidad, el mayor volumen de datos disponible sobre balances hídricos de zonas forestales corresponden a medidas realizadas en cuencas de todo el mundo (Bosch, 1982). Estos datos presentan la ventaja, en relación con otros métodos, de proporcionar medidas para áreas extensas, de modo que integran el efecto de las irregularidades propias de las tierras forestales; no obstante, y como contrapartida, resulta imposible obtener a partir de este método estimaciones de la transpiración real inferiores a un año, con lo que resulta poco viable el análisis de las relaciones que ligan a este término con los factores que lo determinan.

En el otro extremo de la escala, las técnicas microclimáticas permiten investigar los mecanismos de control físico y fisiológico de la transpiración pero su aplicación a las áreas forestales se ve limitada, ya que un bosque presenta una superficie aerodinámica muy rugosa, en comparación con las vegetaciones herbácea o arbustiva, con lo que para flujos similares de calor latente y sensible, los gradientes de temperatura, humedad relativa y velocidad del viento son siempre menores. En estas condiciones la tecnología requerida resulta, a la vez que costosa, de una extraordinaria complejidad.

Las medidas lisimétricas, podrían proporcionar, conjuntamente con las correspondientes a la reserva hídrica del suelo, un método para la determinación de los términos de la ecuación del balance hídrico a una escala semanal o quincenal, intermedia con respecto a las mencionadas anteriormente, con lo que sería factible un análisis de la relación entre la evaporación y los factores del medio que la determinan. No obstante, sólo en condiciones muy excepcionales como las descritas por Rijtema, 1960, Calder, 1976 o Aston, 1984, se han construido lisímetros lo suficientemente grandes como para obtener datos significativos para las áreas forestales.

Finalmente, la aplicación de los métodos de simulación numérica a este problema ha permitido conjugar, en cierta medida, las ventajas de los tres métodos anteriores, empleando como datos de entrada medidas precisas de carácter micrometeorológico y aplicando funciones, hoy relativamente bien conocidas, en la construcción de los modelos. Su exten-

sión a un número lo suficientemente elevado de sitios y con una frecuencia grande ha permitido, en cierta medida, obviar los problemas de variabilidad e irregularidad. La aplicación de modelos como el PROSPER (Goldstein, 1972) o el TEHM (Luxmore, 1983) así parecen indicarlo, y recientemente Roberts, 1983 en un trabajo recapitulativo sobre estos problemas, llega a la conclusión de que los métodos de simulación son los más adecuados para el estudio de balances de agua en áreas forestales.

En este trabajo se intenta poner a punto algunas de las metodologías citadas, con la idea de iniciar con ellas el estudio de los principales parámetros que controlan los procesos de transferencia del agua del suelo a las masas forestales (1).

MATERIALES Y METODOS

Las características de los suelos estudiados así como de las repoblaciones de *Pinos Pinaster Ait.* y *Quercus Robur L.* que sobre ellos se asientan, aparecen en las Tablas I, II, III y IV.

Los métodos empleados en este trabajo se describen a continuación:

Datos meteorológicos.—Los de carácter general corresponden a la estación de Climatología Agrícola del Instituto de Agrobiología de Galicia del CSIC, que dista aproximadamente 1 Km de las repoblaciones estudiadas. Las características generales de los años estudiados se recogen en la Tabla V. Como contraste con las características del año analizado, fundamentalmente húmedas, se estudió también el año 1975, de carácter mucho más seco.

Interceptación y precipitación.—Se realizaron medidas diarias de precipitación en zona de campo abierto en la proximidad de las dos repoblaciones analizadas obteniéndose en la zona de estudio valores ligeramente superiores a los de la Estación Meteorológica (1368 mm para 1975 y 1825 para 1977). La interceptación se midió debajo de las cubiertas arbóreas con pluviómetros de 30 cm de altura y 300 cc de capacidad, con los que se realizó un muestreo estadístico de variabilidad, después del cual se situaron de cinco a ocho pluviómetros, en los puntos más representativos, y bajo cada tipo de vegetación. El análisis estadístico de estos datos que aparece en una publicación anterior (Calvo de Anta et al. 1979) ofrece unos resultados aceptables de reproducibilidad.

Perfiles hídricos del suelo.—Se realizaron por la técnica gravimétrica a intervalos de 10 cm de profundidad y con periodicidad quincenal.

Índice foliar.—El I.F. relativo se midió por planimetría de muestras de diez hojas durante distintos estadios de desarrollo, a lo largo de la estación de crecimiento (en el caso de las acículas de pino se medía la

(1) Este estudio, iniciado en el año 1975, no fue concluído hasta el año 1982 como consecuencia, sobre todo, de la puesta a punto del modelo de simulación. Por otro lado, cambios posteriores en la situación profesional de uno de los autores, retrasaron la redacción definitiva de este trabajo.

TABLA I

Perfil N.º 1 Descriptiva

Tipo de suelo	Cambisol húmico
Localidad	Ayuntamiento de Santiago
Situación	Carretera hacia el Monte Pedroso
Altitud	315 m
Posición fisiográfica	Replano de ladera, Llano
Pendiente	Clase 1
Roca madre	Granito alterado
Vegetación	Pinar de <i>P. pinaster</i>
Drenaje	Clase 3. Moderadamente bien drenado

Horz.	Prof. cm	
Au ₁	0-10 cm	Marrón grisáceo 10 YR 4/2 (s) a grisáceo oscuro 10 YR 3/2 (h). Abundantes raíces pequeñas. Macroporosidad bien desarrollada. Pocas gravas.
Au ₂	10-30 cm	Pardo oscuro 10 YR 5/2 (s) a marrón grisáceo muy oscuro 10 YR 3/2 (h). Raíces abundantes. Presenta planos de ruptura.
C ₁	30-50 cm	Pardo amarillo (s) 10 YR 5/4 a grisáceo 10 YR 4/3 (h). Material suelto y poroso sin agregación.
C ₂	+ 50 cm	Mineral. Pardo pálido 10 YR 7/3 (s) a pardo amarillo 10 YR 6/4 (h). Sin estructura ni raíces.

Características de la repoblación

altura media (m)	densidad pies/ha	perímetro (cm)		
		80-110	110-130	+ 130
16,9	984	33%	64%	3%

superficie ocupada por muestras de 25, dispuestas paralelamente). Para estimar aproximadamente el I.F. absoluto se tuvieron en cuenta datos relativos a la caída de hojarasca, recojidos entre Marzo y Diciembre. La evolución de los datos correspondientes al primer valor aparecen en la Figura 1.

Distribución del sistema radicular.—Se utilizó la técnica descrita por Newman, 1966 en la que, a partir de calicatas abiertas en el suelo, que permiten la observación del sistema radical, se realiza un conteo de raíces, clasificadas por tamaños y en tramos definidos del perfil. En este caso se consideraron todas las raíces inferiores a un diámetro de 2 cm y el conteo se realizó por tramos de 20 cm de profundidad. Se utilizaron tres repeticiones y los resultados se reflejan en la Tabla VI.

TABLA II

PERFIL N.º 1. DATOS GENERALES

Horizonte	pH H ₂ O	pH ClK	C %	m. orgánica %	N %	C/N
Au1	4,8	4,3	6,14	10,58	0,41	15,00
Au2	5,0	4,5	3,22	5,55	0,17	18,90
C1	5,1	4,5	0,95	1,64	0,07	13,60
C2	5,1	4,6	0,56	0,96	—	—

COMPLEJO DE CAMBIO

Horizonte	H	Ca	Mg	K	Na	S	T	V %
Au1	41,6	2,96	1,20	0,86	0,69	5,71	47,31	12,1
Au2	31,4	2,39	0,39	0,72	0,69	4,19	35,39	13,3
C1	29,6	2,48	0,71	0,68	0,54	3,88	32,48	11,9
C2	17,5	1,27	0,24	0,62	0,40	2,59	20,09	14,8

ANALISIS MECANICO

Horizonte	AG	AF	LG	LF	A
Au1	33,9	12,6	16,3	18,4	18,8
Au2	36,2	13,1	17,1	19,3	14,3
C1	43,7	16,1	14,9	12,8	12,0
C2	51,4	15,3	16,7	10,1	4,5

PROPIEDADES FISICAS Y RETENCION DE AGUA

Horizonte	Da	Dr	Por. total	pF 0,5	2	2,5	3	3,5	4,2
Au1	0,90	2,49	63,8	61,5	46,5	36,8	28,6	16,9	12,1
Au2	0,98	2,53	61,3	54,9	42,8	31,6	22,9	15,4	10,6
C1	1,03	2,51	58,5	58,6	41,4	33,5	25,8	16,7	8,7
C2	1,07	2,60	58,8	45,3	39,6	26,8	17,2	12,4	9,1

TABLA III

Perfil N.º 2 Descriptiva

Tipo de suelo	Cambisol húmico
Localidad	Ayuntamiento de Santiago San Fructuoso.
Situación	Carrera hacia el Monte Pedroso
Altitud	280 m
Posición fisiográfica	Replano de ladera. Llano
Pendiente	Clase 1
Roca madre	Esquisto alterado
Vegetación	Robledal de <i>Q. robur</i>
Drenaje	Bien drenado a mod. bien drenado (4-3)

Horz.	Prof. cm	
Au ₁	5-0 cm	Forna de roble. Color pardo 10 YR 4/3 (s) a marrón muy oscuro 10 YR 4/2 (h). Muy suelto, sin agregación. Abundante gravilla.
Au ₂	0-20 cm	Mineral. Color marrón oscuro 10 YR 3/2 (s) a negro 10 YR 2/1 (h). Ligeramente compacto. Presenta planos de ruptura y se desmenuza casi sin formar agregados. Raíces relativamente abundantes; microporosidad desarrollada. Abundante arenilla y arena.
AC	20-40 cm	Color marrón oscuro 10 YR 4/3 (s) a negro 10 YR 2/1 (h). Ligeramente masivo; consistente, con presencia de algunos planos de ruptura. Se deshace en agregados muy inestables. Raíces largas, escasas.
C	+ 40 cm	Mineral. Color pardo pálido 10 YR 7/6 (s) a amarillento 10 YR 5/6. Microporosidad desarrollada. Muy suelto, sin agregación. Gravas muy abundantes.

Características de la repoblación

altura media (m)	densidad pies/ha	perímetro (cm)			
		50-80	80-110	110-140	+ 140
9,3	625	72%	16%	8%	4%

TABLA IV

PERFIL N.º 2. DATOS GENERALES

Horizonte	pH H ₂ O	pH ClK	C %	m. orgánica %	N%	C/N
Au1	4,80	4,35	14,8	25,51	0,81	18,3
Au2	4,95	4,45	5,1	8,79	0,38	13,4
AC	5,00	4,45	1,3	2,24	0,13	10,0
C	5,35	4,50	0,5	0,86	—	—

COMPLEJO DE CAMBIO

Horizonte	H	Ca	Mg	K	Na	S	T	V %
Au1	52,6	2,36	0,96	0,38	2,29	3,99	56,59	7,05
Au2	41,5	2,41	0,75	0,46	0,18	3,80	45,30	8,39
AC	39,3	2,95	0,49	0,41	0,31	4,16	43,46	9,57
C	26,1	1,29	0,21	0,34	0,19	2,03	28,13	7,20

ANALISIS MECANICO

Horizonte	AG	AF	LG	LF	A
Au1	18,1	24,0	14,1	27,5	16,3
AC	29,3	19,6	22,8	12,1	16,2
C	36,5	27,9	14,1	13,2	8,2

PROPIEDADES FISICAS Y RETENCION DE AGUA

Horizonte	Da	Dr	Por. total	pF 0,5	2	2,5	3	3,5	4,2
Au1	0,65	2,46	73,6	86,5	71,9	46,8	24,1	16,3	8,5
Au2	1,03	2,61	60,5	51,3	38,5	27,9	20,9	14,5	11,8
AC	1,05	2,64	60,2	54,8	35,7	25,4	18,3	12,6	9,3
C	1,16	2,60	56,1	46,1	36,3	22,3	14,0	11,8	7,4

TABLA V

Datos meteorológicos de la estación de Climatología Agrícola del Instituto de Agrobiología de Galicia (C.S.I.C.) en Santiago.
(p, precipitación en mm; t, temperatura media en °C; E₀, evaporación en tanque U.S. clase A en mm)

E	F	M	A	M	J	Jl	A	S	O	N	D	Año
1975												
289	101	118	56	44	52	16	0	227	136	159	55	1253 P
9,1	9,7	8,9	11,1	15,9	16,7	18,9	19,7	16,3	14,9	11,5	7,5	13,3 t
15	38	36	70	91	138	121	157	83	56	35	27	867 E ₀
1977												
235	499	189	95	93	105	71	75	64	114	44	202	1786 P
8,1	9,5	11,1	11,4	13,0	14,6	17,1	17,7	15,9	15,1	10,4	10,7	12,8 t
26	31	54	86	74	105	109	112	65	54	34	29	779 E ₀

TABLA VI

Porcentaje de raíces de diámetro inferior a 2 cm bajo los dos tipos de repoblación

	Q. Robur	P. Pinaster
0 - 20 cm	14,6	42,6
20 - 40 cm	31,8	24,2
40 - 60 cm	34,3	29,5
60 - 70 cm	16,3	3,7

Determinaciones físicas y químicas de los suelos.—Fueron realizadas de acuerdo con los métodos descritos por Carballas y Guitián Ojea (1977).

Modelo de simulación del balance hídrico bajo cubierta arborea.—Dado que la capacidad de almacenaje de agua de lluvia de la cubierta arborea y la retención de agua en el suelo son fenómenos independientes entre sí, el balance global a través del ecosistema puede establecerse a través de las siguientes etapas:

a) Cálculo de la intercepción de las lluvias diarias a partir de las funciones establecidas mediante datos experimentales.

b) Cálculo por el método combinado de Penman-Monteith, 1965,

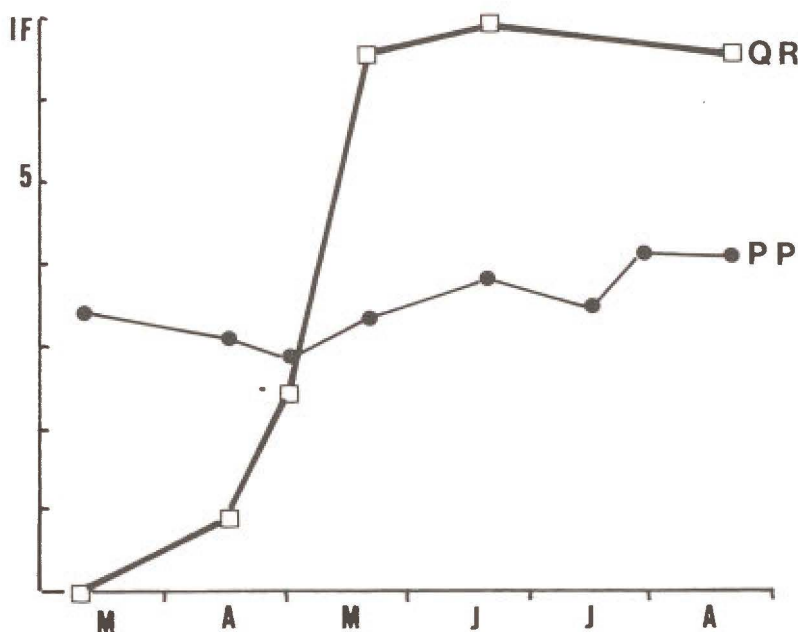


Figura 1.—Variación estacional del índice foliar relativo (superficie total de hojas/unidad de superficie de suelo) para *Pinus Pinaster* Ait. (P.P.) y *Quercus Robur* L. (Q.R.)

de la demanda atmosférica potencial de agua y su evolución estacional, a partir de datos climáticos y fenológicos de la cubierta arbórea.

c) Aplicación del método de simulación de diferencias finitas de Nimah y Hanks (Paz González, A. 1978) que nos permite conocer con salidas diarias, la evolución del contenido hídrico del suelo y las pérdidas totales de agua del sistema suelo-planta.

Las entradas del método de simulación, requieren, por un lado *parámetros edáficos* tales como la relación $\psi(\theta)$ que se calculó por interpolación de la curva de pF a intervalos de $0,01 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$. La función $K(\theta)$, también requerida se estimó mediante el modelo de Green y Corey, 1971 que figura como subrutina del programa, tomando como datos de partida los de conductividad hidráulica a saturación. Por otro lado se precisan *parámetros de vegetación* tales como el índice foliar y la distribución de raíces en el suelo, ya considerados.

Las condiciones iniciales de las que parte el programa, son las de un perfil hídrico en condiciones de capacidad de campo, en superficie, y que varía linealmente hasta el límite inferior del perfil, en donde el suelo se considera que se encuentra saturado. Se subdividió el perfil en un total de 25 niveles. Finalmente las condiciones límite del método suponen una profundidad máxima de 70 cm.

DISCUSION DE RESULTADOS

Interceptación de la lluvia

A partir de los datos experimentales se pudo establecer con claridad la función que liga el porcentaje de interceptación con la magnitud de las lluvias diarias, que es de carácter exponencial y de acuerdo con la función

$$y = a + b \frac{1}{x},$$

tal como se puede apreciar en la Figura 2. De acuerdo con ella a medida que aumenta la lluvia diaria el porcentaje de interceptación disminuye, hasta alcanzar un límite que parece depender claramente de la especie y de su fenología. Y así, el límite más alto aparece en la época estival del roble cuando tiene ya totalmente desarrollada su cubierta, seguido por el pino, que no presenta practicamente diferencias estacionales. Finalmente, el periodo sin hojas del roble, como era de esperar, presenta la mínima interceptación, que de todas formas, no es nunca un valor despreciable, ya que en sus mínimos supera siempre el 10% de la precipitación diaria.

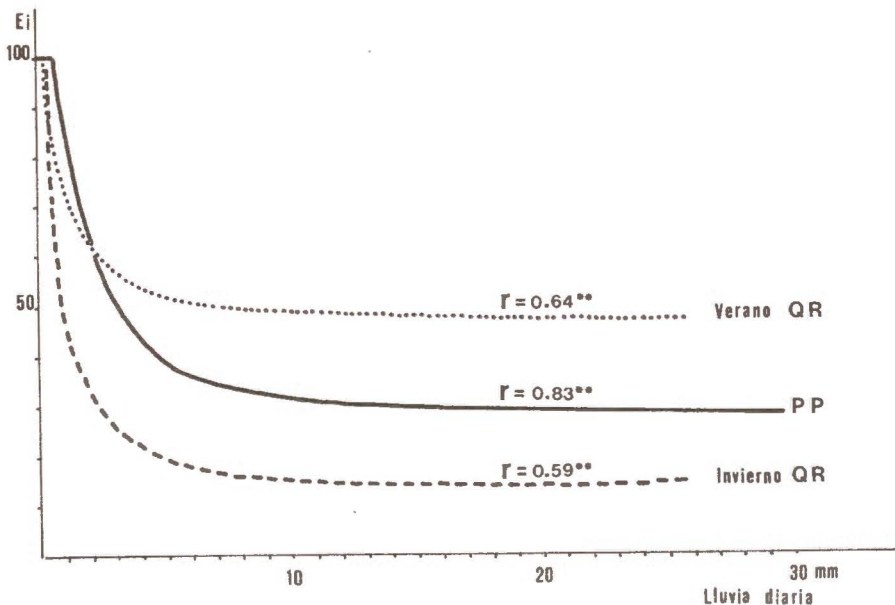


Figura 2.—Interceptación (Ei) (expresado como % de las lluvias diarias) y lluvias diarias (P) en repoblaciones de *Pinus Pinaster* Ait. y *Quercus Robur* L. Se indica las líneas que mejor se ajustan a la función teórica y su grado de significación (+ +) 0,01

De todas formas este tipo de ajuste, que resulta interesante para conocer la estructura del proceso de la interceptación, ofrece menos seguridad para la predicción de sus valores, que la simple correlación establecida entre la precipitación diaria y el agua que llega realmente a atravesar la cubierta vegetal. Entre estas dos magnitudes los coeficientes de correlación son de 0,946 para el *Pinus Pinaster*, de 0,986 para el *Quercus Robur*, estival, y de 0,964 para *Quercus Robur*, invernal, siendo por lo tanto el método elegido.

La evolución estacional de la interceptación para los dos años considerados se refleja en la Figura 3 (área rayada) y en ella se puede apreciar como el porcentaje de agua evaporada mensualmente con relación a la precipitación recogida es aproximadamente constante y próximo al valor del 30%. Esta relativa constancia trae como consecuencia, que en los meses más lluviosos la magnitud de la interceptación llegue a superar los 100 mm, siendo sus valores totales anuales en el *Quercus* de 312 mm

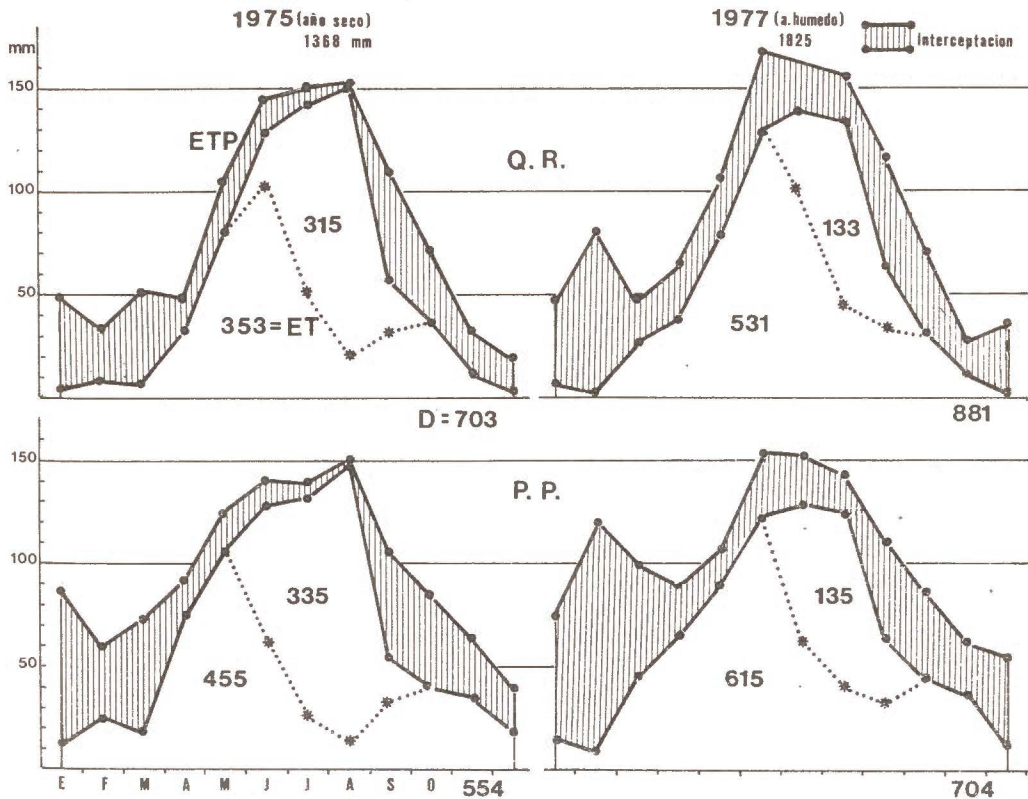


Figura 3.—Evolución de los valores mensuales de interceptación, ETP y ET real, expresados en mm. En número, se representan los valores anuales de los citados parámetros. Se indica también los valores anuales del drenaje interno (D)

para el año seco y 359 para el húmedo, y para el *Pinus* de 413 y 506 respectivamente.

Evapotranspiración potencial

La otra fracción, de la demanda potencial de agua por la atmósfera se corresponde con la transpirada por la cubierta arbórea, el sotobosque y la superficie del suelo. El sotobosque, que de acuerdo con los datos de Roberts 1983, puede llegar a transpirar cantidades significativas de agua, fue suprimido al comienzo de la experiencia, por lo que sólo la evaporación directa por el suelo adquiere una cierta importancia. Para árboles de hoja perenne, que interceptan más del 90% de la radiación incidente (Díaz-Fierros V. et al., 1982), se considera que la evaporación del suelo es prácticamente nula, con lo que los componentes de la ETP se reducen a la transpiración, que se determinará de acuerdo con la fórmula de Penman Monteith, 1965:

$$ETP = E_i + E_t = \frac{\Delta + \gamma}{\Delta + \gamma(1 + r_p/r_a)} (E_t - E_i) + E_i$$

En las especies caducifolias, por el contrario, la evaporación directa por el suelo es un componente importante de la ETP total en el periodo sin hojas, determinándose en este caso la evaporación por la fórmula de Ritchie et al. 1972:

$$E_t = \frac{\Delta R_p}{\Delta + \gamma} \cdot e^{-LAI}$$

De acuerdo con la interpretación de Rutter 1971, demostrada posteriormente por los estudios de Gash y Stewart, 1977, la resistencia interna a la difusión es nula cuando la cubierta vegetal se encuentra saturada por agua de lluvia. Bajo estas condiciones la transpiración potencial puede considerarse prácticamente como despreciable, y por lo tanto la pérdida de agua hacia la atmósfera se produce sólo a partir del proceso de la interceptación. Inversamente, sin agua de lluvia sobre la hoja, el único proceso de salida de agua hacia la atmósfera es la transpiración. La demanda potencial transpiratoria puede considerarse, en consecuencia, como la pérdida potencial de agua en la situación en la que las hojas no se encuentran saturadas de agua.

Comparando los resultados que se obtienen mes a mes por las fórmulas citadas, se obtienen los resultados que aparecen en la Figura 3. En ella se puede apreciar como en términos generales el *Pinus Pinaster* presenta una demanda potencial de agua superior a la del *Quercus*, diferencia que tiende a incrementarse en los años más secos y que por término medio, puede cifrarse para las repoblaciones estudiadas en unos 100 mm anuales. Analizando la evolución estacional de la ETP, se observa claramente, como la menor ETP anual del roble es consecuencia fundamental de su periodo sin hojas, donde los valores son de tres a cuatro veces inferiores a los del pino. En el periodo con hojas, en cambio, la

ETP del *Quercus* llega a superar a la del *Pinus* del orden de unos 10 mm mensuales .

En términos generales, podría señalarse que estas diferencias en los valores de la ETP son dependientes fundamentalmente de su resistencia interna a la difusión, que en último término es dependiente del índice foliar. Estos resultados están de acuerdo con la importancia relativa de cada uno de los términos de la ecuación de Penman Monteith, radiactivo y aerodinámico, ya que por término medio, la contribución del segundo a la demanda potencial de agua es del 70-75% bajo las condiciones estudiadas. Por ello las diferencias de albedo, que son importantes entre coníferas y caducifolias, ejercen poca influencia sobre los valores finales de la ETP .

A título comparativo, se presenta en la Tabla VII, los valores trimestrales de la ETP y la interceptación de las dos especies forestales estudiadas, frente a los valores calculados por los mismos métodos para una pradera de *Lolium perenne* y para un baño de evaporación U. S. clase A. De estos datos, se deduce una importante conclusión, de amplias repercusiones hidrológicas, ya señalada claramente por Calder, I .1979 y otros autores, y es la de la mayor demanda potencial de agua que presentan las especies forestales, frente a las prateras. Esta diferencia, es sobre todo consecuencia de la mayor interceptación que presentan las especies forestales, ya que la demanda potencial transpiratoria, aunque también mayor, lo es en mucha menor proporción. Y esta mayor interceptación de las especies forestales, no es tanto una consecuencia de la mayor capacidad de retención de las cubiertas vegetales, como de su menor resistencia aerodinámica en épocas húmedas como resultado de una mayor coeficiente de rugosidad. Y estas diferencias entre prados y bosques, serán tanto más dilatadas en las situaciones húmedas que en las secas (Calder, 1979), aspecto que se pone bien de manifiesto al comparar los dos a r̄os estudiados .

Perfiles hídricos del suelo

A efectos de conocer las condiciones iniciales que precisa el modelo de simulación de Nimah y Hanks, y al mismo tiempo, el poder disponer de un método de contraste para los resultados del mismo, se determinaron desde el I-III al 14-VIII, seis perfiles hídricos bajo las dos repoblaciones estudiadas y a intervalos de profundidad de 10 cm. Los resultados de los mismos aparecen en la Figura 4 pudiéndose deducir dos conclusiones:

a) que el *Pinus Pinaster* presenta un mayor poder desecante que el *Quercus Robur* durante el periodo Marzo-Junio, estableciéndose un adelanto de las condiciones de sequedad del suelo, de aproximadamente un mes. Posteriormente, en la época de máxima demanda de agua del *Quercus*, se llegan a igualar las condiciones de sequedad del suelo, alcanzándose en ambos, en los 50 cm superiores, el punto de marchitez.

b) como consecuencia del mayor enraizamiento superficial del pino, su perfil de desecación presenta un carácter sigmoidal frente al más rec-

TABLA VII

Valores trimestrales de la ETP y la interceptación anual en distintas cubiertas arbóreas, pradera y tanque de evaporación (en mm)

(1975)	E - M	A - J	Jl - S	O - D	Total	Ei	ETP - Ei
E_o	88,7	229,6	361,1	117,5	866,9		
ETP prado	129,5	216,0	342,7	133,9	822,0	178,7	643,3
ETP roble	134,4	299,8	422,1	122,5	978,8	312,1	666,7
ETP pino	219,4	354,5	393,1	182,8	1149,6	359,0	790,6
(1977)							
E_o	111,3	265,5	286,8	104,1	769,4	—	
ETP prado	136,1	256,0	290,4	126,5	809,0	194,2	614,8
ETP roble	169,1	337,9	436,9	132,5	1076,4	412,8	663,6
ETP pino	289,4	360,2	403,2	203,0	1255,8	485,9	749,9

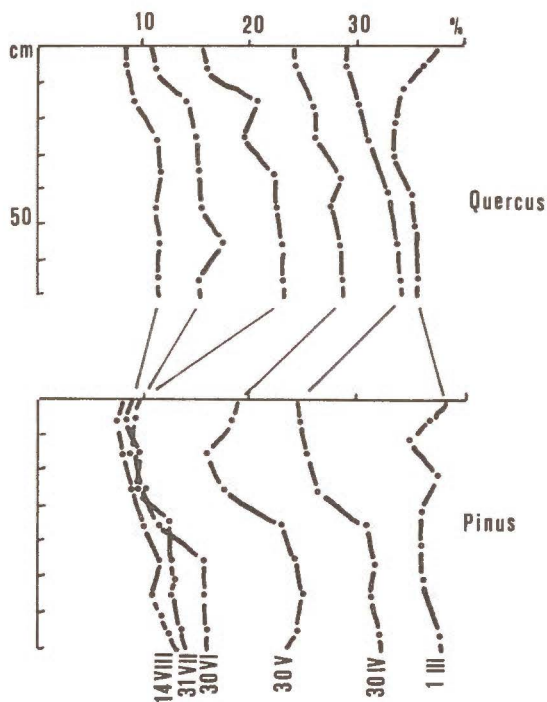


Figura 4.—Perfiles hídricos bajo repoblación de *Quercus* y *Pinus* en diferentes fechas de la etapa de desecación del año 1977

tilíneo y homogéneo del roble. Así mismo y en la época de máxima desecación, los horizontes más profundos (inferiores a los 50 cm) conservan todavía una cierta proporción de agua utilizable, mientras que, bajo roble y hasta los 70 cm, límites de la simulación, se presenta prácticamente agotada la reserva de agua útil del suelo.

Evapotranspiración real

Para comprobar la validez del método de simulación de la ET real se contrastan los resultados de los perfiles de humedad que suministra el programa, con los datos determinados en el suelo por el método gravimétrico, obteniéndose los resultados que se aprecian en la Figura 5 en donde se observa el buen ajuste que existe entre las dos series de medidas. Y de su análisis se puede ya deducir como la reserva en agua útil del suelo (equivalente hasta la profundidad de 70 cm a 165 mm para el suelo de pino y de 170 mm para el de roble) se agota en el año 1975 para los dos tipos de vegetación durante un espacio de tiempo que oscila de dos a tres meses, mientras que en el año más húmedo,

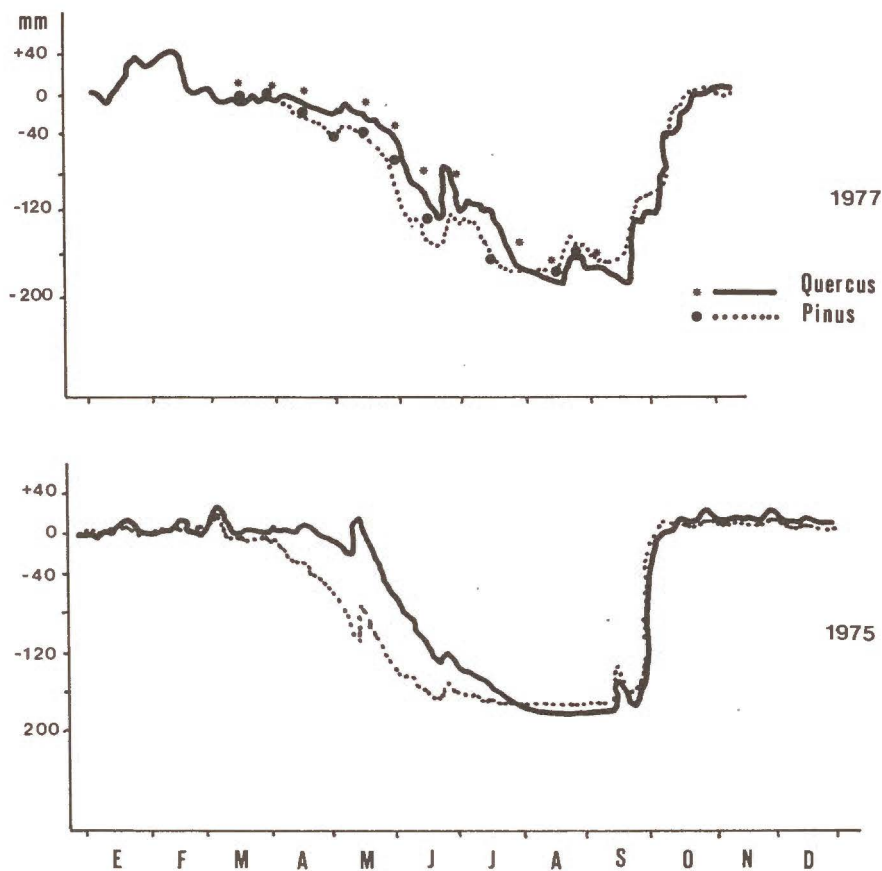


Figura 5.—Perfiles de humedad simulados con el modelo de Nimah y Hanks para los años 1975 y 1977 y valores determinados gravimétricamente en el año 1977

se agota para el suelo bajo pino durante el periodo de un mes, y para el roble, el agotamiento de las reservas de agua coincide ya con el comienzo del periodo de rehúmedación otoñal.

Demostrada la validez del modelo de Nimah y Hanks se aplicó al cálculo de la ET real, obteniéndose los resultados que se representan en la Figura 3 donde ya aparecen incluidos los de la ETP y la interceptación para los años 1975 y 1977. De su análisis se puede concluir, en primer lugar, que la ET deja de ajustarse a los valores potenciales, a partir del mes de Junio, en el año seco y a partir del mes de Julio, en el año húmedo, coincidiendo aproximadamente en ambos casos con el consumo del 50% de las reservas de agua del suelo. Por otro lado, la reducción en la evapotranspiración con relación a los valores potenciales, en el año seco, es del 46 y 42% para *Quercus* y *Pinus*, respectivamente, mientras que en el año húmedo, estos porcentajes se reducen al 22 y 24% respectivamente.

TABLA VIII

Resumen de los diferentes términos que componen el balance hidrológico anual bajo Quercus Robur L. y Pinus Pinaster Ait. y una pradera de Lolium perenne para dos años climatologicamente diferentes, a partir del modelo de simulación de Nimah y Hanks. (P = precipitación, Ei = interceptación, ET = transpiración real, D = drenaje. Todos los valores se expresan en mm). Entre paréntesis, porcentaje sobre precipitación total

P	=	1368 (100) año seco						1825 (100) año húmedo					
Ei	=	312	(22,8)	359	(26,2)	179	(13,1)	413	(22,6)	506	(27,7)	194	(10,6)
ET	=	353	(25,8)	455	(33,3)	418	(30,5)	531	(29,1)	615	(33,7)	553	(30,3)
Ei + ET	=	665	(48,6)	814	(59,5)	597	(43,6)	944	(51,7)	1121	(61,4)	747	(40,9)
D	=	703	(51,4)	554	(40,5)	771	(56,3)	881	(48,3)	704	(38,6)	1078	(59,1)
		<i>Quercus R.</i>		<i>Pinus P.</i>		<i>Lolium P</i>							

CONCLUSION

Un resumen de los diferentes términos que componen el balance de agua, obtenido a partir del modelo de Nimah y Hanks se recoge en la Tabla VIII (en ella se incluye a título comparativo los datos correspondientes a una pradera de *Lolium perenne* situada en la parcela experimental del Instituto de Agrobiología del CSIC cuyas características fundamentales fueron descritas por Paz González, A. y Díaz-Fierros, F., 1981). De todas formas, estos resultados, deben ser interpretados como un primer avance hacia conclusiones más definitivas sobre las relaciones agua suelo de las especies forestales en Galicia, y considerados con toda la provisionalidad que su soporte experimental le impone. Por todo ello, deben ser tenidos como válidos sólo para las estrictas condiciones experimentales bajo las que fueron obtenidos, ya que para alcanzar conclusiones de carácter más general habría que tener en cuenta como mínimo la variabilidad introducida por los siguientes factores:

a) Suelo. Los dos suelos considerados en este estudio, representan solo una mínima parte de la gran variación que existe en las características de los suelos gallegos, sobre todo en lo relativo a su profundidad y textura, que son las propiedades que más influyen sobre sus condiciones de agua.

b) Clima. Dos años, aunque sean climatológicamente contrastados, son un muestreo escaso para tratar de representar la gran variabilidad de las condiciones climáticas. Serían precisos, por lo menos, salidas de ordenador de una serie de diez años, para comenzar a tener valores medios de una cierta fiabilidad.

c) Masa forestal. Parámetros silvícolas de las repoblaciones, como son, la densidad de arbolado, edad, cobertura del suelo, etc. influyen de forma decisiva en el resultado final de estos balances de agua, siendo necesario por lo tanto su sistematización y posterior consideración en el cálculo.

Para tener en cuenta todas estas fuentes de variabilidad se necesitaría un volumen de trabajo y de equipamiento humano e instrumental, que sobrepasaría, con mucho, las pretensiones de esta primera aportación al estudio de las relaciones suelo-agua en las especies forestales gallegas.

RESUMEN

Se estudia la interceptación de la lluvia en un año de características húmedas (1825 mm) para dos repoblaciones de *Quercus Robur* y *Pinus Pinaster*, en las proximidades de Santiago de Compostela (España). Se demuestra la dependencia de la interceptación de las características de la lluvia y las cubiertas forestales, así como la importancia de la misma, supone por término medio el 25% de las pérdidas de agua hacia la atmósfera. Se determina la demanda potencial de agua por las fórmulas de Penman-Monteith, 1965 concluyéndose que las repoblaciones de *Pinus* tienen una mayor demanda que las de *Quercus*, incrementándose esta diferencia en los

años húmedos. Asimismo, comparando este término con la demanda potencial de los prados, se aprecia, cómo ésta es en general inferior a la de las especies forestales.

Se aplica el método numérico de simulación de Nimah y Hanks, 1973 para el cálculo de la evapotranspiración real, comparando previamente sus datos con perfiles hídricos del suelo determinados experimentalmente, demostrándose el buen ajuste existente entre las dos medidas. La reducción en el consumo de agua frente a los valores potenciales representan es del 46 y 42% para el *Quercus* y *Pinus*, respectivamente en el año estudiado. Comparativamente en un año más seco (1368 mm) la reducción supone valores de 22 y 24% respectivamente.

Finalmente se simula el drenaje profundo bajo los dos tipos de vegetación, demostrándose el mayor poder desecante del *Pinus*, y así mismo, como en términos generales, los prados permiten el paso de un mayor porcentaje de agua hacia las capas profundas del suelo que las especies forestales.

BIBLIOGRAFIA

1. ASTON, A. R. 1984. Evaporation from Eucalyptus growing in a weighing lysimeter: A test of the combination equations. *Agr. Forest Meteor.* 31 (241-149).
2. BLANCO DE PABLOS, A. (Coord.). Avances sobre la investigación en Bioclimatología. Salamanca, 1978. Madrid 1981, Madrid 1985 (prensa).
3. BOSCH, J. M.; HEWLETT, J. D. 1982. A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. *J. Hydrol.* 55 (3-23).
4. CALDER, I. R. 1976. The measurement of water losses from a forested area using a "natural" lysimeter. *J. Hydrol.* 30 (311-325).
5. CALDER, I. R. 1979. "Do trees use more water than grass". *Water Serv.* January. 1979.
6. CALVO DE ANTA, R.; PAZ GONZALEZ, A.; DIAZ-FIERROS, F. 1979. Nuevos datos sobre la influencia de la vegetación en la formación del suelo en Galicia (I). *Anal. Edafol.* XXXVIII, 7-8 (1151-1163).
7. DIAZ-FIERROS, F.; CALVO DE ANTA, R.; PAZ GONZALEZ, A. "Asespecies forestais e os solos de Galicia". *Sem. Est. Galegos. Cuad. Area C. Agrarias.* A Coruña. 1982.
8. GASH, J. H.; STEWART, J. B. 1977. The evaporation from Thresford Forest during 1975. *J. Hydrol.* 35 (385-396).
9. GOLDSTEIN, R. A.; MANKIN, J. B.; LUXMORE, R. J. 1974. Documentation of "Prosper": a model of atmosphere-soil-plant water flow. EDFB-IBP 73-9. East Dec. Forest Biom. U.S. Int. Biol. Program. Oak Ridge. Tennessee.
10. GREEN, R. E.; COREY, J. C. 1974. Calculation of hydraulic conductivity a further evaluation of some predictive methods. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 35 (3-8).
11. LUXMORE, R. J. 1983. Water Budget of an Eastern Deciduous Forest Stand. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 47 (785-791).
12. MONTEITH, J. L. 1965. Evaporation and environment. *Symp. Soc. Exp. Biol.* 19 (206-234).
13. NEWMAN, E. I. 1976. Water movement through root systems. *Philos. Tans. R. Soc. London.* 273 (463-478).
14. PAZ GONZALEZ, A.; DIAZ-FIERROS, F. 1981. Evapotranspiración real de un cultivo de *lolium perenne* en Santiago de Compostela durante el período 1969-1975. *Avances Inv. Climatología.* Salamanca (463-482).
15. PAZ GONZALEZ, A. "Iniciación al estudio de las relaciones entre el agua del suelo y la Evapotranspiración de Cultivos y Bosques en Galicia. Tesis Doctoral. Universidad de Santiago, 1982.

16. RIJTEM, P. E. An analysis of Actual Evapotranspiration. Agr. Res. Repp. 659. Pudoc. Wageningen, 1965.
17. RITCHIE, J. T' 1972. Model for predicting evaporation from a row crop with incomplety cover. Water Resour. Res. 8 (1204-1213).
18. ROBERTS, J. 1983. Forest Transpiration: A Conservative Hydrological Process. J. Hydrol. 66 (133-141).
19. RUTTER, A. J.; MORTON, A. J. 1977. A predictive model of rainfall interception in forests. III. J. Appl. Ecol. 14 (567-588).

Recibido para publicación: 30-VII-85.

FERTILIZER AND FOLIAR SAMPLING TRIALS IN TWO STAGES OF DEVELOPMENT OF THE FLOWER BUD IN THE ROSE 'MERCEDES'

By

C. E. ALVAREZ, M. FERNANDEZ, V. GARCIA and A. E. CARRACEDO*

RESUMEN

EXPERIENCIAS DE FERTILIZACION Y MUESTREO FOLIAR EN DOS ESTADOS DE DESARROLLO DEL CAPULLO FLORAL DE LA ROSA 'MERCEDES'

Para conocer las necesidades en fertilizantes N, P, K así como que estadio de desarrollo de la planta de rosas es la más adecuada para realizar el muestreo foliar, se llevó a cabo una experiencia de fertilización N-P-K en el cultivar 'Mercedes' injertado sobre R. canina Inermis. Al mismo tiempo que se recogían muestras de suelos para su análisis, se tomaban dos diferentes tipos de muestras foliares: a) Dos primeras hojas de 5 foliolos en tallos cuyos capullos florales tenían el tamaño de un guisante, y b) dos primeras hojas de 5 foliolos en tallos cuyos capullos florales mostraban al menos de 1 a 3 sépalos separados (muestreo standard). La producción cuali y cuantitativa fue contabilizada.

Ninguna respuesta se observó a la adición de fertilización N, P, K cuando las cantidades a añadir superaban las 1,5 veces el total de estos nutrientes exportados por el cultivo, es decir: 38, 8 y 30 grs/m² y año de N, P₂O₅ y K₂O respectivamente. Asimismo se obtuvieron diferentes tipos de correlaciones entre las características químicas del suelo, nutrientes en hojas y relación suelo-planta.

El muestreo tipo "standard" resultó ser superior que el de "capullo tamaño guisante" a la hora de reflejar mejor el estado nutritivo de la planta.

INTRODUCTION

There is a great disparity of opinion among the authors consulted when evaluating the amounts of fertilizers to be added to the rose bush. Soriano (1976) recommends the following annual amounts of fertilizer per m²: 32 gr. N, 5 gr. P₂O₅ and 40 gr. K₂O. The firm of Meiland gives much higher quantities: 100-200 gr. N, 30-50 gr. P₂O₅ and 100-150 gr. K₂O. In California the average annual applications are similar to those indicated by Meiland (1955). There is also some disagreement on the proportion of nutrients to be supplied, which ranges from 1: 0.22:0.55 (Puccine, 1958) to that indicated by Johansson (1978) who, with the variety 'Parel von Aalsmeer' on R. Canina, uses 1:0.60:1.20. Fernández (1983) finds that the optimum proportion depends on the stem length: 1:0.30:1.25 for long-stemmed varieties and 1:0.20:0.80 for short stemmed.

* Centro de Edafología y Biología aplicada de Tenerife, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Cabildo Insular, Santa Cruz de Tenerife, Islas Canarias.

Moreover, rose growers in Tenerife generally use fertilizer standards recommended in other producing regions whose soils show fertility conditions much below ours, which, apart from the economic waste (a case of luxury consumption) that this could imply, may curtail production on occasion through the effect of salinity (induced by excess fertilizer), specific toxicity, or interactions. On this point García and colls. (1977) find marked imbalances in the soil caused by excess K and low Mg content, as well as very high N values in the leaf, which, according to Heeny (1960), could result in reduced yields, especially since the optimum values indicated in the literature varies from 2.8% to 3.5%, while the values observed in the Island are generally above 3.8%.

This tendency is supported by the data obtained by Díaz and colls. (1984) on nutrient export by the plant who find a low nutrient export (20 gr. N, 6 gr. P_2O_5 and 23 gr. K_2O per m^2 /year) in comparison with the fertilizer applied. Fernández (1983), with Sonia, likewise finds no qualitative and quantitative yield response to potassic fertilizer, when the available K content of the soil is above 2.30 meq/100 gr.

The necessity of carrying out the present fertilizer trial is, therefore, understandable, and trials to determine which stage of plant development is suitable for foliar sampling, were included. Thus, having already chosen the most representative leaves for carrying out the foliar sampling (the first two leaves of 5 leaflets), in accordance with a previous work (García and colls., 1984) it remains to be determined at what stage of plant development the sampling should be made, since there are discrepancies among the different authors. Thus, Herreros (1978) recommends taking the leaves when the flower bud is pea sized. Boodley (1969), however, does so when the flower bud begins to show colour, while Chan (1961), Bik (1970), Carlson (1964) and Nelson (1972) sample when the flowers are being gathered.

Because of this, foliar samples were obtained in two different periods of flower formation as is described in the following section.

MATERIAL AND METHODS

The trial was carried out in a plastic greenhouse with plants of the cultivar 'Mercedes' grafted on R. Canina Inermis. The roses were grown in containers of 200 litres capacity each with a surface of $0.5 m^2$ and containing 4 rose plants. Following the studies carried out by Díaz and colls (1984) in Tenerife on the nutrient export by the rose bush the N-P-K fertilizer trial was carried out with amounts corresponding to 1.5, 3 and 4.5 times the total of these nutrients exported by the plant per square metre and year, which represents (per m^2 /year) 38, 75 and 112 gr. N for treatments N_1 , N_2 and N_3 respectively; 8, 15 and 23 gr. P_2O_5 for treatments P_1 , P_2 and P_3 ; and 30, 60 and 90 gr. K_2O for treatments K_1 , K_2 and K_3 . In all there were 9 treatment: $N_1 P_1 K_1$ and a factorial $\begin{pmatrix} N_2 \\ N_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} P_2 \\ P_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} K_2 \\ K_3 \end{pmatrix}$. Each treatment was made up of 3 container, a total of 12 plants per treatment.

The trial was carried out with a loam-clay soil: % clay.-30,; % silt.-44;
% sand.-26, whose chemical analysis was as follow:

	pH	(25°C) μmhos/cm EC	% sat.	ppm P ₂ O ₅	% M.O.	meq/100 g.				meq/l					
						Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻
Original soil	5.3	1425	42.1	80	2.6	0.36	0.06	6.49	3.58	2.02	0.13	7.9	8.8	2.9	1.05
Soil after thorough fertilizing	5.9	2300	42.9	200	2.7	0.98	0.95	7.90	3.36	5.80	0.51	13	10	5.0	1.70

The irrigation water used gave the following chemical characteristics:

pH	(25°C) μmhos/cm EC	meq/l							
		Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	CO ₃ ⁼	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁼	Cl ⁻
8.5	950	5.40	0.51	1.00	2.56	1.04	3.54	3.10	2.40

During the trial three soil and leaf samplings were carried out for each treatment in April, July and October 1984. In gathering leaves two different types of sampling were used: 1) the first two leaves of 5 leaflets on stems whose buds were pea sized, and 2) the first two leaves of 5 leaflets on stems whose buds showed at least 1 to 3 sepals separated (Standard sampling). In addition, the number of flowers ready for cutting was counted, bearing in mind their quality according to present-day commercial standards, with the aim of obtaining production data for each of the treatments in question.

The following analytical methods were used:

a) *Soils*

Available P_2O_5 .—The Olsen and colls. (1954) methods was followed and it was determined in the extract by colorimetry.

Exchangeable cations.—Exchangeable Na, K, Ca and Mg were extracted with a solution of $CH_3-COONH_4$ at pH = 7 with a ratio of soil to extractant of 1/5 shaking for 30 minutes. Na and K were determined by flame photometry and Ca and Mg by atomic absorption spectrophotometry.

In the saturated extract were determined: soluble cations by the techniques previously indicated, carbonates and bicarbonates by the Rettmeier (1943) method, and Chlorides by the Mohr method.

b) *Foliar analysis*

Mineralization of the sample was carried out by the dry ash method; the extraction was made by treating the ash with HCl 6N. P and the cations K, Ca, Mg, Na, Fe, Mn, Cu and Zn were determined in the extract. The determination of P was carried out by colorimetry according to the vanadate molybdate method. K, Ca, Mg, Na, Fe, Mn, Cu and Zn were determined by atomic absorption spectrophotometry.

RESULTS AND DISCUSSION

Table I sets out the results of the chemical analysis of the soils sampled in April, July and October. A soil response to potassic fertilizer can be seen in the three sampling periods, since the exchangeable potassium shows averages of 1.99, 1.63 and 1.91 meq/100 gr. for the treatments K_3 , whereas the respective averages for the treatments K_2 are 1.79, 1.38 and 1.79 meq/100 gr., K_1 showing values of 1.41, 1.41 and 1.66 respectively. The differences between the potassic treatments are even clearer for soluble K with average values of 1.73, 2.42 and 2.47 meq/l for K_3 in April, July and October, the corresponding values for K_2 and K_1 being 1.28, 2.08 and 2.65 meq/l, and 1.28, 1.67 and 2.13 meq/l respectively.

A clear soil response to the different treatments with phosphate fertilizers is not observed, possibly due to its high capacity to fix this element (Baez, 1985).

TABLE I

Chemical analysis of soils according to treatments

Date: April 1984

Treatment	% Saturation	pH	% M.O	(ppm) P ₂ O ₅	Exch. cats (meq/100 gr)				Soluble ions (meq/l)						mmhos /cm (25°C) EC	
					K	Ca	Mg	Na	Na	K	Ca	Mg	Cl ⁻	CO ₃ ⁼		HCO ₃ ⁻
N ₁ P ₁ K ₁	49	4,64	3,58	132	1,41	6,60	3,69	1,74	10,00	1,28	9,00	7,00	5,60	0,00	2,90	2,35
N ₂ P ₂ K ₂	48	4,54	3,66	166	1,79	6,25	3,69	2,17	10,74	1,68	9,20	9,80	6,00	0,00	0,50	2,70
N ₃ P ₃ K ₃	47	4,30	4,16	165	2,17	6,35	3,28	1,52	9,09	2,70	8,80	10,20	5,00	0,00	0,50	2,55
N ₂ P ₂ K ₃	47	4,46	4,83	159	1,86	6,05	3,61	1,52	9,39	1,96	8,40	9,00	5,00	9,00	0,70	2,50
N ₂ P ₃ K ₃	47	4,44	3,66	172	1,83	5,85	3,53	2,17	9,09	1,31	7,20	9,00	4,60	0,00	0,70	2,25
N ₂ P ₃ K ₂	49	4,65	3,51	160	1,66	6,50	3,53	1,30	8,04	1,63	6,60	6,60	3,80	0,00	1,20	2,00
N ₃ P ₂ K ₂	50	4,26	3,59	149	1,99	5,45	3,69	1,85	9,13	1,83	9,00	8,60	7,80	0,00	1,80	2,50
N ₃ P ₂ K ₃	50	4,46	4,26	149	2,08	6,05	3,94	2,09	8,70	2,53	8,60	8,40	5,20	0,00	1,00	2,40
N ₃ P ₃ K ₂	49	4,44	3,92	218	1,72	6,80	3,94	1,93	9,57	1,53	10,40	9,00	5,80	0,00	2,90	2,65

TABLE I (Cont.)

Chemical analysis of soils according to treatments

Date: July 1984

Treatment	% Saturation	pH	% M.O.	(ppm) P ₂ O ₅	Exch. cats. (meq/100 gr)				Soluble ions (meq/l)						mmhos /cm (25°C) EC	
					K	Ca	Mg	Na	Na	K	Ca	Mg	Cl ⁻	CO ₃ ⁻		HCO ₃ ⁻
N ₁ P ₁ K ₁	49	5.00	3.98	172	1.41	7.85	4.51	2.61	10.00	1.28	8.80	11.20	8.20	0.00	0.70	2.90
N ₂ P ₂ K ₂	50	4.80	3.80	183	1.28	7.40	4.67	1.52	11.74	2.17	12.00	15.00	9.20	0.00	0.80	3.70
N ₃ P ₃ K ₃	49	4.91	4.22	189	1.79	7.15	4.26	1.52	10.43	2.69	12.40	15.40	8.40	0.00	1.10	3.80
N ₂ P ₂ K ₃	49	4.49	4.90	218	1.41	7.65	4.35	1.52	12.61	2.56	15.60	16.00	7.90	0.00	0.24	3.95
N ₂ P ₃ K ₃	50	4.95	3.95	183	1.53	7.90	4.35	2.39	10.43	2.17	9.80	13.20	8.00	0.00	0.60	3.15
N ₂ P ₃ K ₂	49	4.78	4.01	165	1.41	7.10	4.18	2.61	10.43	2.05	10.20	13.80	8.40	0.00	0.80	3.40
N ₃ P ₂ K ₂	49	4.60	3.95	172	1.41	7.35	4.02	1.52	10.43	1.92	14.20	15.60	8.80	0.00	0.70	3.75
N ₃ P ₂ K ₃	49	4.60	4.30	155	1.79	6.65	4.10	1.52	11.30	3.19	14.20	20.80	8.20	0.00	0.50	4.15
N ₃ P ₃ K ₂	49	4.71	4.15	220	1.41	6.30	3.94	1.09	10.00	2.17	13.40	15.60	6.80	0.00	0.70	3.65

TABLE I (Cont.)

Chemical analysis of soils according to treatments

Date: October 1984

Treat met	% Satura- tion	pH	% O.M.	(ppm) P ₂ O ₅	Exch. cats. (meq/100 gr)				Soluble ions (meq/l)						mmhos /cm (25°C) EC	
					K	Ca	Mg	Na	Na	K	Ca	Mg	Cl ⁻	CO ₃ ⁻		HCO ₃ ⁻
N ₁ P ₁ K ₁	52	4.87	4.20	181	1.66	6.90	4.92	1.43	12.17	1.73	11.60	14.60	8.00	0.00	0.60	3.50
N ₂ P ₂ K ₂	52	4.47	3.45	189	1.92	6.00	4.26	1.43	13.91	2.56	14.00	18.00	8.20	0.00	0.50	4.25
N ₃ P ₃ K ₃	51	4.29	3.63	165	2.05	5.40	3.94	1.43	13.91	2.81	16.60	16.40	7.80	0.00	0.50	4.65
N ₂ P ₂ K ₃	52	4.59	3.32	149	1.60	6.00	4.18	1.52	15.22	1.73	13.60	15.00	9.20	0.00	0.70	4.05
N ₂ P ₃ K ₃	55	5.02	3.38	189	1.92	6.75	4.59	1.43	13.91	2.56	14.00	15.80	10.00	0.00	0.50	4.10
N ₂ P ₃ K ₂	53	4.91	3.45	198	1.92	6.35	4.51	1.30	12.61	2.56	14.80	19.20	9.80	0.00	0.70	4.05
N ₃ P ₂ K ₂	51	4.41	3.89	181	1.66	6.05	4.35	1.30	14.35	2.81	18.00	23.00	8.60	0.00	0.50	5.20
N ₃ P ₂ K ₃	53	4.41	4.39	198	2.05	6.30	4.76	1.43	16.52	3.84	18.80	15.20	9.80	0.00	0.50	5.65
N ₃ P ₃ K ₂	55	4.70	3.70	198	1.66	6.10	4.43	1.30	13.04	1.73	15.00	16.60	7.40	0.00	0.50	4.35

As regards the Ca, Mg, Na and Cl^- of the saturated extract, as also the EC, a progressive increase is noted throughout the trial which could be due to the amounts which the irrigation water involves, and the application of dolomite carried out to raise the soil pH and not unbalance the ratio exchangeable Ca/Mg and counteract the acidifying effect of the fertilizers used.

Table IV sets out the correlation coefficients and regression equations found in the chemical properties of the soil. A positive correlation is noted between available P_2O_5 and exchangeable Mg at a significance level of 2%. This correlation could be explained by the fact that like P_2O_5 likewise undergoes an increase in the April and July samplings, remaining unchanged in the October. The same occurs with the exchangeable Mg concentrations, which in the case of P_2O_5 is due to phosphate fertilizer, and in that of Mg to the amounts of this element which the irrigation water and the applied dolomite involve.

The positive correlation, at significance level of 5%, obtained between exchangeable Mg and Ca is also to be explained by the fact that dolomite was applied to the soil as a dressing, and this causes the concentration of both exchangeable cations to increase in parallel. The known antagonism K-Ca (Mengel and Kirkby, 1978) is noted at a significance level of 5% between exchangeable Ca-K.

As regards foliar analysis, the results obtained in April, July and October for the 'standard' and 'pea-sized bud' samplings are set out in Tables II and III respectively. In general, a higher N concentration in the leaves of the 'pea-sized bud' sampling is more evident than in those of the standard type, a tendency explicable by the fact that N decreases

TABLE II

Foliar levels of macro and micronutrients: Standard sampling

Date: April 1984

Treatment	%					ppm				
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	Na
$\text{N}_1\text{P}_1\text{K}_1$	3.12	0.29	2.73	1.54	0.35	81	122	20	16	328
$\text{N}_2\text{P}_2\text{K}_2$	3.08	0.31	2.84	1.55	0.36	82	129	21	17	362
$\text{N}_3\text{P}_3\text{K}_3$	3.40	0.31	2.69	1.54	0.37	82	135	22	18	366
$\text{N}_2\text{P}_2\text{K}_3$	3.02	0.29	2.78	1.58	0.37	98	140	21	17	342
$\text{N}_2\text{P}_3\text{K}_3$	3.16	0.31	2.92	1.49	0.37	86	106	22	15	416
$\text{N}_2\text{P}_3\text{K}_2$	3.22	0.31	2.51	1.50	0.34	95	115	24	13	435
$\text{N}_3\text{P}_2\text{K}_2$	3.14	0.34	2.98	1.53	0.37	87	167	22	17	402
$\text{N}_3\text{P}_2\text{K}_3$	3.04	0.34	2.78	1.51	0.37	95	185	22	15	397
$\text{N}_3\text{P}_3\text{K}_2$	3.23	0.29	2.73	1.59	0.35	84	148	21	14	454

TABLE II (Cont.)

Foliar levels of macro and micronutrients: Standard sampling

Date: July 1984

Treatment	%					ppm				
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	Na
N ₁ P ₁ K ₁	2.66	0.30	2.55	1.50	0.33	102	129	32	16	304
N ₂ P ₂ K ₂	2.94	0.31	2.26	1.62	0.35	135	121	24	14	348
N ₃ P ₃ K ₃	2.99	0.31	2.46	1.51	0.39	92	231	22	17	384
N ₂ P ₂ K ₃	2.73	0.31	2.61	1.52	0.34	132	140	27	16	446
N ₂ P ₃ K ₃	2.38	0.31	2.29	1.58	0.32	118	117	30	16	278
N ₂ P ₃ K ₂	2.68	0.30	2.39	1.61	0.31	105	132	20	14	321
N ₃ P ₂ K ₂	2.32	0.30	2.47	1.57	0.34	125	184	17	13	365
N ₃ P ₂ K ₃	2.87	0.31	2.21	1.83	0.38	139	227	19	15	278
N ₃ P ₃ K ₂	2.70	0.30	2.53	1.48	0.32	91	149	18	16	277

TABLE II (Cont.)

Foliar levels of macro and micronutrients: Standard sampling

Date: October 1984

Treatment	%					ppm				
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	Na
N ₁ P ₁ K ₁	3.05	0.29	2.43	1.80	0.40	110	142	17	14	319
N ₂ P ₂ K ₂	2.94	0.31	2.52	1.82	0.38	123	126	18	14	354
N ₃ P ₃ K ₃	3.10	0.32	2.73	1.51	0.35	108	152	18	13	380
N ₂ P ₂ K ₃	3.08	0.30	2.22	1.65	0.39	109	179	19	14	287
N ₂ P ₃ K ₃	3.32	0.32	2.52	1.62	0.36	124	118	18	13	346
N ₂ P ₃ K ₂	2.87	0.31	2.63	1.59	0.36	132	164	18	14	309
N ₃ P ₂ K ₂	3.26	0.30	2.30	1.68	0.37	89	234	18	13	320
N ₃ P ₂ K ₃	3.21	0.30	2.23	1.83	0.39	96	171	17	13	377
N ₃ P ₃ K ₂	3.37	0.32	2.24	2.05	0.45	131	160	18	13	426

TABLE III

Foliar levels of macro and micronutrients: Pea-sized sampling

Date: April 1984

Treatment	%					ppm				
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	Na
N ₁ P ₁ K ₁	3.14	0.34	2.80	1.25	0.35	82	120	26	16	347
N ₂ P ₂ K ₂	3.63	0.34	2.95	1.30	0.35	98	106	27	16	351
N ₃ P ₃ K ₃	3.26	0.34	2.85	1.28	0.35	103	125	30	18	374
N ₂ P ₂ K ₃	3.18	0.34	2.79	1.29	0.34	92	108	25	16	386
N ₂ P ₃ K ₃	3.64	0.31	2.87	1.36	0.37	86	103	22	18	465
N ₂ P ₃ K ₂	3.36	0.36	2.78	1.36	0.35	86	108	25	16	428
N ₃ P ₂ K ₂	3.64	0.36	2.97	1.35	0.35	89	148	25	17	376
N ₃ P ₂ K ₃	3.15	0.34	2.81	1.59	0.39	84	149	25	16	441
N ₃ P ₃ K ₂	3.28	0.36	2.98	1.40	0.36	91	132	27	16	452

TABLE III (Cont.)

Foliar levels of macro and micronutrients: Pea-sized sampling

Date: July 1984

Treatment	%					ppm				
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	Na
N ₁ P ₁ K ₁	2.97	0.30	2.55	1.50	0.33	102	129	32	16	304
N ₂ P ₂ K ₂	2.37	0.34	2.64	1.31	0.34	172	108	32	18	373
N ₃ P ₃ K ₃	3.09	0.35	2.59	1.15	0.34	187	135	23	16	274
N ₂ P ₂ K ₃	2.73	0.34	2.50	1.18	0.32	112	119	23	18	289
N ₂ P ₃ K ₃	2.53	0.34	2.66	1.32	0.35	99	94	33	19	301
N ₂ P ₃ K ₂	2.70	0.36	2.63	1.42	0.34	96	138	28	13	291
N ₃ P ₂ K ₂	2.88	0.33	2.59	1.31	0.34	86	143	29	16	369
N ₃ P ₂ K ₃	2.80	0.31	2.58	1.38	0.38	157	150	32	16	304
N ₃ P ₃ K ₂	2.77	0.36	2.38	1.56	0.35	138	143	36	17	290

TABLE III (Cont.)

Foliar levels of macro and micronutrients: Pea-sized sampling

Date: October 1984

Treatment	%					ppm				
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	Na
N ₁ P ₁ K ₁	3.09	0.33	2.79	1.76	0.37	138	128	26	16	399
N ₂ P ₂ K ₂	3.16	0.33	2.64	1.46	0.38	168	125	25	16	566
N ₃ P ₃ K ₃	3.54	0.35	2.55	1.37	0.36	113	154	25	15	397
N ₂ P ₂ K ₃	3.32	0.33	2.25	1.22	0.37	76	135	21	15	205
N ₂ P ₃ K ₃	3.80	0.34	2.71	1.41	0.35	110	107	23	13	400
N ₂ P ₃ K ₂	3.47	0.35	2.71	1.33	0.36	186	148	31	14	374
N ₃ P ₂ K ₂	3.59	0.31	2.56	1.36	0.33	134	165	27	15	342
N ₃ P ₂ K ₃	3.36	0.30	2.50	1.55	0.38	112	193	30	14	356
N ₃ P ₃ K ₂	3.48	0.34	2.48	1.31	0.34	110	152	29	15	392

TABLE IV

Correlation coefficients and regression equations between some chemical properties of the soil

Mg (exchange) - Ca (exchange)	$y = 0.260 x + 2.412$ $r = 0.421$ (5%)
Ca (exchange) - K (exchange)	$y = -1.775 x + 9.602$ $r = -0.657$ (5%)
P ₂ O ₅ - Mg (exchange)	$y = 24.784 x + 74.758$ $r = 0.460$ (2%)

with plant age (Smith, 1962). A similar tendency is observed in K, also indicated by Smith (1962) and Johansson (1978), while the opposite occurs with phosphorus, which is in agreement with the observations of Barber (1977) according to whom a greater P concentration is found in the youngest plants.

The regression equations and their corresponding correlation coefficients found between the leaf nutrients for both the standard and the pea type samplings are set out in Table V. A positive correlation N-Mg

TABLE V

Correlation coefficients and regression equations between some elements of foliar analysis

	N	K	Ca	Mg	Mn	Zn
Ca		$y = -0.371x + 2.556$ $r = -0.608$ (0.1%) (S)				
Mg	$y = 0.063x + 0.173$ $r = 0.598$ (0.1%) (S)		$y = 0.148x + 0.123$ $r = 0.705$ (0.1%) (S)			
			$y = 0.064x + 0.266$ $r = 0.487$ (2%) (P)			
Cu		$y = 3.317x + 6.392$ $r = 0.478$ (2%) (S)			$y = -0.034x + 18.463$ $r = -0.414$ (2%) (S)	$y = 0.190x + 10.834$ $r = 0.464$ (2%) (S)
					$y = -0.032x + 20.15$ $r = -0.447$ (2%) (P)	
Na	$y = 80.484x + 115.24$ $r = 0.423$ (5%) (S)	$y = 221.73x - 227.51$ $r = 0.550$ (1%) (P)		$y = 1.637x - 213.803$ $r = 0.392$ (5%) (P)		

P = Foliar sampling of stems with pea-sized buds.

S = Standard foliar sampling.

(standard) stands out at a significance level of 0.1%, which is also cited by Mengel (1978) who indicates that nitrogenous nutrition stimulates cationic absorption by the plant. This explanation is also valid for the positive interaction observed between N-Na (standard).

K also shows a positive correlation with Na at a significance level of 1% for the pea type sampling, as does Mg, although at a level of 5%. In this case the tendency could be due to the continuous supply of both elements by the irrigation water.

The correlation between Ca and Mg for both types of sampling (standard and pea), with significance levels of 0.1% and 2% respectively is also noted by Johansson (1979) and Díaz (1975). In our case this is explained by the fact that both cations increase in parallel in the soil, as we indicated previously.

We have also been able to corroborate the antagonism foliar K-Ca cited by Johansson (1979) working with rose bushes which, in our case, show a significance level of 0.1%.

A negative interaction between Mn and foliar Cu for both types of sampling is noted at significance levels of 2% in both cases. Although it has been said that a high soil Cu concentration may decrease Mn absorption by the plant (Mengel and Kirkby, 1978), we do not think that this could be the case, because the leaf Cu concentrations are nor-

TABLE VI

Correlation coefficients and regression equations between standard foliar sampling and foliar sampling of stem with pea-sized buds

N (Pea-sized) - N (Standard)	$y = 0.965 x + 0.292$ $r = 0.717$ (0.1%)
K (Pea-sized) - K (Standard)	$y = 0.562 x + 1.243$ $r = 0.709$ (0.1%)
Fe (Pea-sized) - Fe (Standard)	$y = 0.773 x + 33.466$ $r = 0.438$ (5%)
Mn (Pea-sized) - Mn (Standard)	$y = 0.93 x - 9.88$ $r = 0.674$ (0.1%)
Cu (Pea-sized) - Cu (Standard)	$y = 0.528 x + 8.144$ $r = 0.560$ (1%)
Na (Pea-sized) - Na (Standard)	$y = 0.662 x + 128.69$ $r = 0.480$ (2%)

mal (Fernández, 1983), and nothing suggests that there might be a Cu excess in the soil. Furthermore no references to a Cu-Mg antagonism in plants was found in the literature consulted.

The unusual positive interaction between Cu-Zn observed by Díaz (1975) also stands out, and was found by us in the standard sampling at a significance level of 2%.

Table VI sets out the relations found between the elements of the standard and the pea type foliar sampling. N, K and Mn show positive correlations at a significance level of 0.1% while those of Na, Cu and Fe are 2%, 1% and 5% respectively.

Tables VII and VIII detail the relations found between soil nutrients and plant (both for standard and pea type). Exchangeable K is positively correlated with leaf N for both types of samples at a significance levels of 1% and 0.1%, respectively, which corroborates the findings of Johansson (1979). Exchangeable Ca shows a negative correlation with leaf Mg for both samplings at a level of 5% and 2% respectively. This is in agreement with the observations of Mengel (1978) according to which Ca concentrations in the zone near the roots may decrease Mg absorption by the plant.

Foliar K shows highly significant negative correlations with soluble Na and Ca for both types of sampling which are in agreement with the known interactions Na-K and Ca-K (Rotson and Pitman, 1983; Díaz, 1975). A similar negative correlation is also found with soluble Mg.

With regard to the soluble cations, a negative correlation between Cl^- and leaf K is found in both types of sampling at a significance level of 1% in both cases. This situation could be explained by the existence of the negative correlation between soluble Na and foliar K, the Na soil increase being in parallel with that of chloride since both are carried by the irrigation water.

The electrical conductivity of the saturated extract shows a negative correlation with leaf K for both types of sampling at significance levels of 0.1% in both cases, which was to be expected in view of the negative correlations obtained between the soluble ions and foliar K. Leaf Cu shows negative correlations for both types of sampling (standard and pea) with Ca and soluble Cl^- as well as electrical conductivity. This negative interaction between Ca and Cu is also noted by Johansson (1979) in roses.

Table IX sets out the results of the average production and quality of flowers according to the different fertilizer treatments. The average total production of flowers per plant varies from 32.23 for the treatment $\text{N}_3\text{P}_3\text{K}_3$ to 37.50 for $\text{N}_1\text{P}_1\text{K}_1$.

On applying a variance analysis to the production data no significant differences are found between the different treatments, which could indicate that an amount of N, P_2O_5 and K_2O equivalent to 1.5 times the nutrient export (of these elements) by the plant, and therefore, in the proportion 1:0.20:0.75 appears to be enough to maintain an acceptable production. Thus, the hypothesis from which we started at the

TABLE VII

Correlation coefficients and regression equations between the results of Standard foliar analysis and chemical characteristics of soil

Soil Leaf	pH	Exchangeable cations			
		K	Ca	Mg	Na
N	$y = -0.534x + 5.472$ $r = -0.449$ (2%)	$y = 0.623x + 1.925$ $r = 0.566$ (1%)	$y = -0.253x + 4.657$ $r = -0.622$ (0.1%)		
K	$y = -0.037x + 4.272$ $r = -0.383$ (5%)	$y = 0.337x + 1.959$ $r = 0.379$ (5%)	$y = -0.128x + 3.376$ $r = -0.381$ (5%)		
Mg			$y = -0.019x + 0.486$ $r = -0.440$ (5%)		$y = -0.029x + 0.411$ $r = -0.417$ (5%)
Cu				$y = -1.791x + 22.194$ $r = -0.476$ (2%)	

TABLE VII (Cont.)

Correlation coefficients and regression equations between the results of Standard foliar analysis and chemical characteristics of soil

Soil Leaf	Soluble ions					EC
	Na	Ca	Mg	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	
K	y = -0.056x + 3.178 r = -0.548 (1%)	y = -0.037x + 2.980 r = -0.540 (1%)	y = -0.034x + 2.997 r = -0.636 (0.1%)	y = -0.076x + 3.105 r = -0.582 (1%)		y = -0.156x + 3.008 r = -0.648 (0.1%)
Ca	y = 0.036x + 1.211 r = 0.569 (1%)	y = 0.020x + 1.369 r = 0.494 (1%)	y = 0.016x + 1.396 r = 0.499 (1%)			y = 0.082x + 1.328 r = 0.562 (1%)
Mg	y = 0.005x + 0.305 r = 0.381 (5%)					
Fe				y = 6.451x + 57.448 r = 0.596 (1%)	y = -13.454x + 117.223 r = -0.471 (2%)	y = 9.473x + 72.558 r = 0.473 (2%)
Mn						y = 17.871x + 0.386 r = 0.473 (2%)
Zn		y = -0.574x + 27.882 r = -0.500 (1%)	y = -0.348x + 25.672 r = -0.389 (5%)			y = -1.867x + 27.435 r = -0.458 (2%)
Cu		y = -0.249x + 17.800 r = -0.528 (1%)	y = -0.159x + 16.976 r = -0.432 (5%)	y = -0.354x + 17.455 r = -0.391 (5%)		y = -0.908x + 17.982 r = -0.544 (1%)
Na			y = -4.786x + 421.567 r = -0.391 (5%)			

TABLE VIII

Correlation coefficients and regression equations between the results of foliar analysis of stems with pea-sized buds and chemical characteristics of soil

Leaf \ Soil	pH	Exchangeable cations		
		K	Ca	Mg
N	$y = -0,677 x + 6,319$ $r = -0,423$ (5%)	$y = 0,958 x + 1,537$ $r = 0,647$ (0.1%)	$y = -0,388 x + 5,731$ $r = -0,709$ (0,1%)	
K				$y = -0,200 x + 3,496$ $r = -0,466$ (2%)
Mg			$y = -0,012 x + 0,430$ $r = -0,455$ (2%)	

TABLE VIII (Cont.)

Correlation coefficients and regression equations between the results of foliar analysis of stems with pea-sized buds and chemical characteristics of soil

Soil Leaf	Solubles ions					EC
	Na	Ca	Mg	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	
K	$y = -0.049x + 3.223$ $r = -0.598$ (0.1%)	$y = -0.035x + 3.089$ $r = -0.647$ (0.1%)	$y = -0.026x + 3.031$ $r = -0.632$ (0.1%)	$y = -0.057x + 3.094$ $r = -0.549$ (1%)	$y = 0.130x + 2.559$ $r = 0.475$ (2%)	$y = -0.130x + 3.126$ $r = -0.684$ (0.1%)
Fe				$y = 9.172x + 46.626$ $r = 0.480$ (2%)		$y = 16.953x + 55.956$ $r = 0.481$ (2%)
Mn						$y = 14.916x + 80.024$ $r = 0.631$ (0.1%)
Cu		$y = -0.179x + 18.120$ $r = -0.405$ (5%)		$y = -0.356x + 18.617$ $r = -0.417$ (5%)		$y = -0.702x + 18.411$ $r = -0.446$ (2%)

TABLE IX

Flower production according to different treatments

Treatment	STEM LENGTH									TOTAL PRODUCTION				
	less than 30 cm			from 30 to 40 cm			from 40 to 50 cm					more than 50 cm		
	No. Flowers	Flowers Plant	% Production	No. Flowers	Flowers Plant	% Production	No. Flowers	Flowers Plant	% Production	No. Flowers	Flowers Plant	% Production	No. Flowers	Flowers Plant
N ₁ P ₁ K ₁	33	2.75	7.3	226	18.80	50.2	172	14.25	38.2	19	1.58	4.2	450	37.50
N ₂ P ₂ K ₂	46	3.83	11.2	199	16.58	48.4	148	12.33	36.0	18	1.50	4.4	411	34.25
N ₃ P ₃ K ₃	40	3.33	9.8	207	17.25	50.7	136	11.33	33.3	25	2.08	6.1	408	34.00
N ₂ P ₂ K ₃	34	2.83	8.6	221	18.42	56.1	116	9.67	29.4	23	1.92	5.8	394	32.83
N ₂ P ₃ K ₃	35	2.92	8.1	229	19.08	52.8	151	12.58	34.8	19	1.58	4.4	434	36.17
N ₂ P ₃ K ₂	29	2.42	7.1	228	19.00	56.0	125	10.40	30.7	25	2.08	6.1	407	33.91
N ₃ P ₂ K ₂	56	4.67	14.1	186	15.50	46.7	136	11.30	34.2	20	1.67	5.0	398	33.17
N ₃ P ₂ K ₃	37	3.08	8.8	211	17.60	50.4	151	12.60	36.0	20	1.67	4.8	419	34.92
N ₃ P ₃ K ₂	35	2.92	9.0	198	16.50	51.0	132	11.00	34.0	23	1.92	5.9	388	32.33

beginning of the trial that the large amounts of fertilizers usually applied by the growers are not in consonance with the real needs of the plant, appears to have been confirmed.

Comparison between the standard foliar sampling and that of pea-sized buds

From an examination of the correlations obtained between the elements of the foliar analysis on the one hand, and the chemical characteristics of the soil with the foliar analysis on the other, the following is deduced:

The known negative relation between foliar K-Ca does not appear in the pea type sampling, but does in the standard.

A strange positive correlation between K and Na appears in the pea type sampling, but is not found in the standard.

The positive correlation between exchangeable K and leaf K, which was to be expected, appears in the standard sampling, but not in the pea type.

Exchangeable Mg shows a negative correlation with foliar K in the pea type sampling, but not in the standard.

Exchangeable Na and leaf Mg correlate negatively in the standard sampling, but not in the pea type.

Soluble Ca correlates positively with the leaf Ca in the standard sampling, but not in the pea type.

There is a positive correlation between soluble Ca and leaf Mg in the standard sampling which does not appear in the pea type.

The known negative interaction between soil HCO_3^- and leaf Fe is found in the standard sampling, but not in the pea type.

In view of these results it is concluded that the standard type of foliar sampling appears to reflect much better the nutrition of the plant in itself and in its relation to the soil than the pea type sampling.

SUMMARY

An N, P, K, trial was carried out with the rose cultivar 'Mercedes' grafted on *Rosa canina Inermis*. Soil samples were taken and analyzed, at the same time than two different types of foliar samples: a) the first two leaves of 5 leaflets on stems whose buds were pea sized, and b) the first two leaves of 5 leaflets on stems whose buds showed at least 1 to 3 sepals separated (standard sampling). The rose production was also measured.

No response was observed to N, P, K fertilizers addition when their amounts were over 1.5 times the total of these nutrients exported by the crop, in other words, 38, 8 and 30 gr. per m^2 /year of N, P_2O_5 and K_2O , respectively.

Correlation coefficients among the different soil chemical characteristics, the nutrients in the leaves and soil-plant relationships were obtained.

The standard sampling method was better in regard the nutritive status of the plant than the pea size sampling method.

REFERENCES

- BAEZ, J., 1985. Contribución al conocimiento de la adsorción y desorción de fósforo en suelos de origen volcánico de las Islas Canarias. Tesina de Licenciatura, Universidad de La Laguna, Tenerife.
- BARBER, S. A. 1977. Application of phosphate fertilizers: methods, rates and time of application in relation to the phosphorus status of soils, *Phosphorus in Agriculture*, 31 (70), 109-115.
- BIK, R. A. 1970. Manuring trial with Baccara roses, *Vakbl. Bloemist.* 25: 478-9.
- BOODLEY, J. W. and WHITE, J. W. 1969. "Fertilization in roses" (ed. J. W. Mastarlerz and R. W. Langhans) Fertilization roses manual, Rose Inc. publications p. 78-92.
- CARLSON, W. H., 1964. Position sampling and plant analyses of green-house rose (*Rosa hybrida*) in correlation with flower yield, Master Thesis, The Pennsylvania State University Park.
- CHAN, A. P. 1961. Nutrient requirement of roses, *Flor. Exch.* 136 (35): 58, and 136 (36): 56.
- DIAZ, A. 1975. Estudio de la fertilidad de los suelos y nutrición mineral en los cultivos de plátanos de Tenerife. Tesis doctoral, Universidad de la Laguna, Tenerife.
- DIAZ, A., FERNANDEZ, M., GARCIA, V. and ALVAREZ, C. E. 1984. Export of nutrients by some rose cultivars in Tenerife, *Agrochimica*, 32 (2-3) 202-212.
- FERNANDEZ, M. 1983. Estudios sobre nutrición mineral en los cultivos de rosas de Tenerife. Tesis Doctoral, Universidad de La Laguna, Tenerife.
- GARCIA, V., DIAZ, A., FERNANDEZ CALDAS, E., ALVAREZ, C. E. 1977. Características químicas de los suelos de plátanos de Tenerife, *Anales de Edafología y Agrobiología*, Vol. XXXVI, No. 9-10.
- GARCIA, V., ALVAREZ, C. E., FERNANDEZ, M. and DIAZ, A. 1984. Foliar analysis of the rose bush for cut flowers, *Agrochimica*, Vol. XXVIII, No. 2-3, 185-191.
- HEENEY, H. B., MILLER, S. R. and CHAN, A. P. 1960. Relationship between plant composition and yield. *Progr. Hort. Div. Centr. Exp. Fm. Ottawa*, 1954-1958, pp. 51-2.
- HERREROS, L. 1978. Cultivo del rosal para flor cortada, S.E.A. Centro Regional Canarias, No. 10, 12.
- JOHANSSON, J. 1978. Effects of nutrient levels on growth flowering and leaf nutrient content of greenhouse roses, *Acta Agriculturae Scandinavica XXVIII*: 4.
- JOHASSON, J. 1979. Main effects and interactions of N, P and K applied to greenhouse roses, *Acta Agriculturae Scandinavica*, XXIX, 2.
- MEILLAND, F. 1955. Rosen-Nuheitenzuchtüing in Hydrokultur auf cap d'Antibes, *Gartenwelt* 55, 149-151.
- MENGEL, K. and KIRKBY, E. A. 1978. Principles of Plant Nutrition, Inter, Potash Inst, pp. 117-119, Berne, Switserland.
- NELSON, P. V. 1972. Copper deficiency of roses, *Flower Growers Bull.* Vol. 16, No. 4. December.
- OLSEN, S. R., COLE, C. V., WATANABE, F. S., DEAN, L. A. 1954. Estimation of available P in soils by extraction with sodium bicarbonate, U.S.D.A. Circular 939.
- PUCGINE, G. 1958. Ricerche sulla nutrizione della rose ibrida rifiorente, *Ann. Staz. Sper. Floricol.* S. Remo, Vol. XII, No. 6, 1655-76.
- RETTEMEIER, R. F. 1943. Semicroanalysis of saline soil solutions, *Indus. and Eugin. Chem., Analyt. Ed.* 15: 393-402.
- ROBSON, A. D., PITMAN, M. G. 1983. *Enciclopedia of Plant Physiology*, Tomo XV, A, pp. 147-180, Springer-Verlag, Berlín.
- SMITH, P. F. 1962. Mineral analysis of plant tissues, *Ann. Rev. Plant Physiol.* 13, 81-108.
- SORIANO, J. M. 1976. Manual teórico práctico del cultivo de flor cortada, 23. España.

PODER FERTILIZANTE DE LOS LODOS RESIDUALES: EFECTO SOBRE EL CONTENIDO TOTAL Y DISPONIBILIDAD DE Fe, Mn, Cu, Co y Ni

Por

M. L. ANDRADE COUCE(*), A. MATEOS BEATO(*) y
F. GUITIAN OJEA(**)

SUMMARY

FERTILIZING POWER OF THE SEWAGE SLUDGES: EFFECT UPON THE TOTAL CONTENT AND AVAILABILITY OF Fe, Mn, Cu, Co AND Ni

The effect of the addition of five different doses of sewage sludges is studied on the availability and total content of Fe, Mn, Cu, Co and Ni in acid soil and the absorption by *Hordeum vulgare* of these elements.

The direct effect of these treatments was evaluated by means of the extraction of the mentioned oligoelements fifteen days after we applied the different doses, perceiving a bigger response when increasing the added proportion.

The absorption by the culture is practically equal with all the treatments, since and insolubilization of the oligoelements is produced because of the decreasing of the acidity and the increasing of the percentage of organic matter, obtaining the most adequated values with the treatment with 20 Ton sludge/Ha.

A high positive correlation was established between the available contents in the soil and the absorbed by the culture, as well as between the total and available quantities of each element in the soil.

It exists also a narrow and positive correlation between the acidity and the available contents, and between percentage of organic matter and the mentioned contents.

The residual effect was studied by extraction from the soil of the studied metals, when the harvesting was made, obtaining different responses for each one of them. It must be emphasized that with the treatment of 20 Ton sludge/Ha significant variations are not produced with regard to the control, but for the Mn. In no case values that could result toxic are attained.

INTRODUCCION

La posible contaminación de suelos y cultivos, por tratamiento con lodos residuales urbanos, está siendo objeto de numerosos estudios y experimentos y, en muchos países, se han establecido ya límites de dosificación, a causa de sus elevados, en muchos casos, contenidos de metales pesados que pueden resultar tóxicos.

Esta toxicidad está condicionada por la movilidad de los oligoelementos en el suelo y por su disponibilidad para las plantas, de modo que la aplicación de lodos residuales, junto con el mantenimiento de la calidad

(*) Colegio Universitario de Vigo, Universidad de Santiago.

(**) Departamento de Edafología, Facultad de Farmacia, Universidad de Santiago.

del suelo, requiere, no sólo el conocimiento del contenido en metales pesados del lodo, sino también su solubilidad en suelos tratados con él, y la respuesta de las plantas al citado tratamiento (*Webber, D. et al.*, 1974).

La dosis de aporte debe ser calculada en función de las necesidades de sustancias nitrogenadas del cultivo, y en base al contenido en nitrógeno del lodo. Dicha dosis puede estar limitada, como ya se ha citado, por su contenido en microelementos contaminantes (*Felipó, M. T. y Garau, M. A.*, 1984).

Según numerosos investigadores, los límites para metales pesados están determinados por el pH del suelo y por la capacidad de intercambio catiónico. Se ha afirmado asimismo, que los suelos orgánicos son los adecuados para la aplicación de lodos residuales (*King, L. D.*, 1982).

Debe tenerse en cuenta que, para preservar la fertilidad del suelo, las cantidades de elementos potencialmente tóxicos, han de ser lo más bajas posibles, ya que la gradual acumulación por sucesivas adiciones puede producir un cambio permanente en la composición del suelo, pudiendo volver a éste estéril (*Purves, D.*, 1979).

Una vez tenidos en cuenta todos estos factores, debe señalarse que dado que los oligoelementos no se aplican regularmente al suelo mediante los fertilizantes habituales, y su extracción del mismo se ha realizado durante siglos sin reposición alguna, aparecen con frecuencia deficiencias. Se sabe que en la actualidad existen extensas superficies de suelos incapaces de producir cultivos con suficientes contenidos de micronutrientes, ya que por muy diversos motivos se está contribuyendo al agotamiento acelerado de las existencias disponibles en los suelos (*Sillanpää, M.*, 1972).

En la actualidad se sabe, o supone con suficiente fundamento, que varios oligoelementos son esenciales para el desarrollo de las plantas y algunos de ellos para la nutrición animal, por lo que la aplicación al suelo de materias fertilizantes que contengan cantidades no tóxicas de los mismos, producirá efectos beneficiosos.

En este trabajo, segundo de una serie que se está realizando acerca de la utilización de lodos residuales urbanos para la fertilización de suelos ácidos, se estudia el efecto de la adición de cinco dosis diferentes de los lodos residuales procedentes de la planta depuradora de aguas de Santiago de Compostela, sobre la disponibilidad y contenido total de Fe, Mn, Cu, Co y Ni en un suelo ácido, así como la absorción de estos elementos por un cultivo de *Hordeum vulgare*, variedad Atlas.

De los oligoelementos contenidos en el lodo residual se han elegido, para este estudio, los citados anteriormente, porque son potencialmente menos tóxicos para suelos y cultivos por sus características o su concentración en el lodo, y se ha dedicado otro trabajo a aquellos elementos, como Zn, Pb, Cr y Cd que por su naturaleza o su contenido pueden dar lugar a problemas de contaminación o fitotoxicidad.

Debe pues tenerse en cuenta que factores como pH y porcentaje de materia orgánica, modificados sensiblemente con los distintos tratamientos (*Andrade Couce, M. L. et al.*, 1985) influyen decisivamente en

la solubilidad y disponibilidad de los elementos mencionados, alcanzándose para algunos de ellos los valores de acidez idóneos para que la absorción por el cultivo sea la adecuada (Bould, C. y Ewitt, E. J., 1963; Gupta, V. C., 1972).

Cabe señalar que para Cu, Co y Ni, elementos que pueden producir efectos tóxicos a concentraciones elevadas, ninguno de los tratamientos efectuados aporta cantidades que puedan provocar efectos nocivos en suelos ni en cultivos (Fibian, K. y Borchmann, W., 1973; Mishra, D. y Kar, M., 1974).

Asimismo, y paralelamente, se ha estudiado el efecto residual que la aplicación de los diversos tratamientos provoca en el suelo, y las relaciones con las variaciones de pH y de contenido de materia orgánica inducidas por las diferentes dosificaciones.

MATERIALES Y METODOS

Materiales

Se ha utilizado el horizonte A de un cambisol húmico (textura franca) recogido en la provincia de Pontevedra, municipio de Vigo, en una zona de vaguada entre lomas de escasa altitud.

El lodo utilizado procede de la estación depuradora de aguas residuales de Santiago de Compostela; el tratamiento efectuado a dichas aguas en la planta, se ha indicado en (Andrade Couce, M. L. y otros., 1985).

Las características analíticas del suelo y del lodo se indican en la Tabla I.

Métodos

El estudio se ha realizado en invernadero, en tiestos que contenían 2,5 Kg de suelo y a los que se han adicionado cinco dosis diferentes de lodos, desarrollando un cultivo de cebada (*Hordeum vulgare*, L.) variedad Atlas.

Los tratamientos aplicados fueron los correspondientes a 10, 20, 40, 80 y 160 Tm lodo/Ha (T_1 , T_2 , T_3 , T_4 , T_5 respectivamente), otro con un fertilizante inorgánico 200:120:100 (F) y un control (C).

Al cabo de 15 días de haber realizado el tratamiento, se tomaron muestras de todos los tiestos para determinar el efecto directo de la aplicación de lodos.

La realización de los diferentes tratamientos, modo de efectuar la siembra, etc., han sido descritos en Andrade Couce, M. L., y otros, (1985).

Los métodos analíticos utilizados se describen a continuación.

Fe, Mn, Cu, Co y Ni asimilables en lodos y suelos.—Extracción por el método de Lakanen, E. y Ervio, R. (1971), y determinación por espectrofotometría de absorción atómica.

TABLA I

Datos analíticos del suelo y del lodo residual

Datos analíticos	Suelo	Lodo
pH (H ₂ O)	5,45	12,39
pH (ClK)	4,50	12,20
C %	4,90	11,85
N %	0,49	1,17
C/N	9,38	10,12
P (Asim.) (p.p.m.)	15,00	102,00
K ₂ O %	3,46	1,50
Na ₂ O %	0,81	3,03
Fe (extr.) (p.p.m.)	62,00	12,00
Fe (total) (% Fe ₂ O ₃)	3,54	3,06
Mn (extr.) (p.p.m.)	11,60	16,00
Mn (total) (p.p.m.)	271,00	325,00
Cu (extr.) (p.p.m.)	4,60	25,00
Cu (total) (p.p.m.)	98,00	810,00
Ni (extr.) (p.p.m.)	1,00	8,00
Ni (total) (p.p.m.)	60,00	86,00
Co (extr.) (p.p.m.)	1,20	10,00
Co (total) (p.p.m.)	85,00	150,00
Complejo de cambio meq/100 gr		
Na	1,18	1,39
K	1,21	1,95
Ca	0,35	0,62
Mg	0,27	0,16
H	24,80	—
S	3,01	4,12
T	35,05	5,03
V	9	82
Al	7,24	0,91

Contenido total de Fe, Mn, Cu, Co y Ni en suelo.—Digestión total de la muestra en un reactor a presión con HF y HNO₃ y determinación por espectrofotometría de absorción atómica.

Oligoelementos en el lodo.—Digestión total de la muestra en reactor a presión con H₂SO₄, HNO₃ y HClO₄, y determinación por espectrofotometría de absorción atómica.

Contenido total de oligoelementos en planta.—Una vez recolectada, se lava la parte aérea de la planta con HCl y agua, se seca y calcina a 500° C, las cenizas se disuelven con HNO₃ y se determinan los elementos citados por espectrofotometría de absorción atómica.

RESULTADOS Y DISCUSION

En las Tablas II y III se indican los contenidos disponibles y totales de los diferentes oligoelementos al cabo de quince días de ser incubado en el suelo cada tratamiento, y después de realizar la recolección, así como el nivel de significación de cada uno de los resultados.

Se observa, de modo general, que existe mayor respuesta al aumentar la dosificación, pero el incremento no es todo lo elevado que cabría esperar, en el caso del asimilable, dadas las cantidades aportadas por el lodo; ello se debe fundamentalmente a la gran disminución de la acidez del suelo producida por las distintas dosis (*Andrade, M. L. y otros.*, 1985), que al alcanzar valores próximos a la neutralidad, evita la solubilización de mayores cantidades de estos elementos, hecho que ha sido señalado frecuentemente por diversos autores (*Chetelat, A. A.*, 1978; *Sillanpää, M.*, 1982).

Este factor, junto con el incremento del contenido de materia orgánica, y la interacción entre estos y otros elementos entre sí, impiden el aumento de la disponibilidad y la absorción por los cultivos de cantidades elevadas de estos metales.

Por otra parte, es importante destacar que el aumento del contenido total de los citados oligoelementos en el suelo es constante y significativo para cada uno de los tratamientos, en casi todos los casos (Tabla II), por lo que se aprecia con toda nitidez el efecto directo causado por la aplicación del lodo residual, al compararlo con el suelo fertilizado inorgánicamente (F) y con el control (C).

Una vez realizada la recolección se ha efectuado un estudio de las cantidades de cada elemento absorbidas por el cultivo, en función de las aportadas por cada tratamiento (Fig. 1a y 1b), observándose que, salvo en el caso del Fe, se produce una práctica estabilización de los contenidos absorbidos, aún con distintas dosificaciones de lodo, de modo que se aprecia un ligero crecimiento respecto al suelo control, pero a medida que se incrementa la cantidad de lodo añadido, y, por lo tanto, las de los distintos oligoelementos, este crecimiento se hace cada vez menos acentuado, a causa de las dificultades existentes para aumentar los contenidos disponibles en el suelo, como son la disminución de la acidez y la complejación de los elementos citados por la materia orgánica (*Sillanpää, M.*, 1982).

El distinto comportamiento del cultivo respecto a la absorción del Fe, puede atribuirse a que este elemento es aportado, por los lodos, en cantidad muy elevada (Tabla I) debido al tratamiento sufrido por las aguas en la planta depuradora (*Andrade Couce, M. L. y otros.*, 1985), por ello el aumento de la cantidad disponible en el suelo, con cada tratamiento, es muy considerable (Tabla II), y el cultivo responde incrementando la absorción (Tabla IV), sin embargo debe señalarse que ésta no es todo lo elevada que cabría esperar dados los contenidos disponibles; solamente se eleva de forma muy significativa en el cultivo desarrollado sobre el suelo tratado con la dosis más elevada de lodo residual.

Ello puede ser debido a que la disponibilidad de macronutrientes es

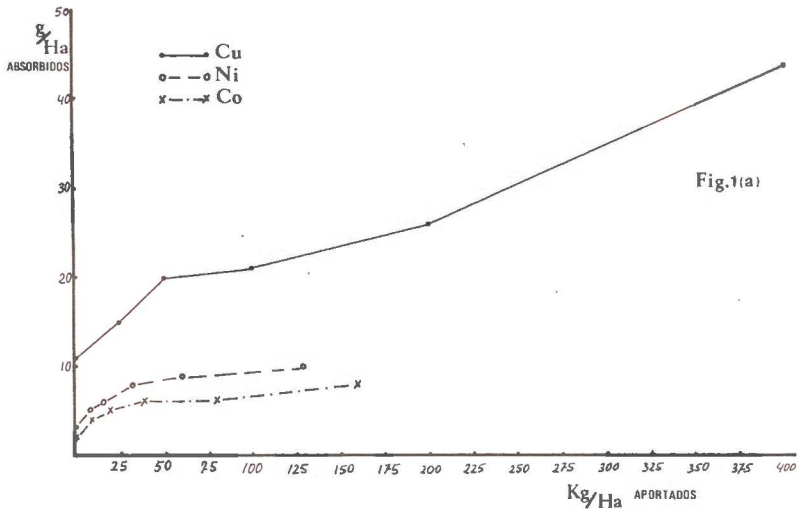


Fig. 1 (a). Variación de las cantidades de Cu, Ni y Co absorbidas por los cultivos, frente a las aportadas por cada tratamiento

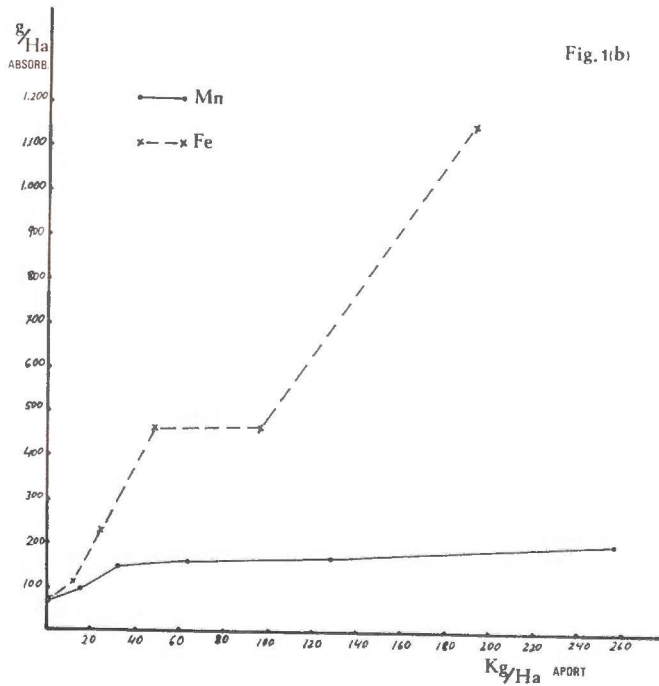


Fig. 1 (b). Variación de las cantidades de Mn y Fe absorbidas por los cultivos, frente a las aportadas por cada tratamiento

TABLA II

Contenido de Mn, Fe, Cu, Co y Ni (asimilable y total) en el suelo, antes de proceder a la siembra

Tratamiento	Mn		Fe		Cu		Ni		Co	
	Asim. (ppm)	Total (ppm)	Asim. (ppm)	Total (% Fe ₂ O ₃)	Asim. (ppm)	Total (ppm)	Asim. (ppm)	Total (ppm)	Asim. (ppm)	Total (ppm)
C	11,60a	271a	62a	3,54a	4,60a	98a	1,00a	60a	1,20a	85a
F	11,80a	280ab	60a	3,42a	4,40a	97a	1,10a	59a	1,30a	87a
T ₁	15,30ab	288b	86ab	3,51a	4,70a	100a	2,00ab	70ab	2,70ab	88a
T ₂	28,20b	296bc	94b	3,62a	4,95a	125ab	2,50b	78b	3,10b	92ab
T ₃	29,10bc	311c	131bc	3,73ab	7,25ab	140b	3,20bc	81b	3,35bc	96b
T ₄	30,30c	328cd	175c	3,97ab	7,40ab	165bc	3,85c	89bc	3,85c	108bc
T ₅	32,30cd	340d	204cd	4,65b	7,80b	180c	4,60cd	104c	4,15cd	115c

En cada columna, los valores seguidos de la misma letra, no son significativamente diferentes para P = 0,05

TABLA III

Contenido de Mn, Fe, Cu, Co y Ni (asimilable y total) en el suelo, una vez realizada la recolección

Tratamiento	Mn		Fe		Cu		Ni		Co	
	Asim. (ppm)	Total (ppm)	Asim. (ppm)	Total (%Fe ₂ O ₃)	Asim. (ppm)	Total (ppm)	Asim. (ppm)	Total (ppm)	Asim. (ppm)	Total (ppm)
C	10,80a	260ab	40a	3,06a	3,40a	88a	1,00a	60a	1,20a	85ab
F	11,00a	262ab	50ab	3,10a	3,20a	88a	1,00a	60a	1,20a	85ab
T ₁	14,80ab	275b	60b	3,12a	3,40a	88a	1,80ab	60a	2,40ab	85ab
T ₂	26,80b	250a	60b	3,08a	3,80a	105ab	2,10b	67ab	2,40ab	85ab
T ₃	27,20b	300c	88bc	3,16a	5,80ab	115b	2,80bc	62a	2,80b	70a
T ₄	28,40bc	290bc	162c	3,78ab	5,00ab	115b	3,40c	75b	2,40ab	100bc
T ₅	29,20bc	325cd	280cd	4,17b	5,80ab	155bc	3,90cd	90bc	3,20bc	95b

En cada columna los valores seguidos de la misma letra, no son significativamente diferentes para P = 0,05

la adecuada, y aún superior a la necesaria, por lo que se amortigua el efecto que podría producirse respecto a la asimilabilidad de los oligoelementos.

Para completar este estudio, se ha analizado la influencia de la acidez y del porcentaje de materia orgánica en la variación de concentraciones de los distintos elementos en el suelo y en la planta (Figs. 2 y 3), observándose que las menores relaciones de contenidos planta/suelo, para el Co y Ni se producen a pH 6,43 que corresponde al tratamiento con 20 Tm lodo/Ha, considerado como el más adecuado por su aporte en macronutrientes (*Andrade Couce, M. L. y otros., 1985*), estas relaciones son aún menores que en el suelo fertilizado inorgánicamente y que en el control; ésto ha sido confirmado ya por diversos autores que indican disminución de la asimilabilidad para valores de pH comprendidos entre 4 y 6,5 al elevarse éste, acentuándose este efecto al incrementar el porcentaje de materia orgánica; y estabilización o incluso aumento de la citada disponibilidad al sobrepasar estos valores (*Lakanen, E., 1967; Wright, J. y Lawton, K., 1954*).

Para Mn y Fe, la menor relación se da en el tratamiento T-1, elevándose ligera y constantemente en los restantes en el caso de Fe y muy apreciablemente en el Mn.

Debe señalarse que la relación de concentraciones planta/suelo para el Fe es la menor, respecto a los otros oligoelementos estudiados, para todos los tratamientos, ello es debido, por una parte, a la gran insolubilización de este elemento a medida que disminuye la acidez, además el Fe introducido por la adición de lodo está como Fe (III) insoluble, acompañado de cantidades apreciables de Ca que hace descender su actividad en el suelo (*Chetelat, A. A., 1978*), por otra parte se ha comprobado que diversos subproductos orgánicos proporcionan Fe disponible por el cultivo cuando son añadidos a un sustrato arenoso desprovisto de Fe asimilable, inmovilizando a este elemento cuando se adicionan a un suelo con cantidades disponibles elevadas (*Pommel, B., 1979*). Por lo tanto es muy significativa aquí la influencia conjunta de todos estos factores, que hacen variar la relación de contenidos en planta y suelo, entre la menor y la más alta dosificación, solamente entre valores de $5,5 \cdot 10^{-3}$ y $37,5 \cdot 10^{-3}$ respectivamente, y que, a pesar de las importantes cantidades de Fe añadidas, no son asimiladas más que muy pequeñas proporciones, por lo que deben evitarse grandes dosificaciones de lodo, ya que se produciría acumulación en el suelo del exceso de Fe insoluble, mientras que, para tratamientos con menores cantidades de lodo residual, como el de 20 Tm/Ha, el nivel de macronutrientes el idóneo y la cantidad de Fe añadida es muy inferior.

En el caso del Mn, la adición de lodo provoca, salvo en T-1, un efecto positivo en la relación Mn planta/Mn suelo, frente al descenso de la acidez, aunque la influencia de este factor es variable, produciéndose la relación más alta a pH 6,43.

Existen en la bibliografía resultados diversos en estudios realizados sobre este elemento, en suelos tratados con subproductos orgánicos; mientras diversos autores afirman que la fertilización con compost ur-

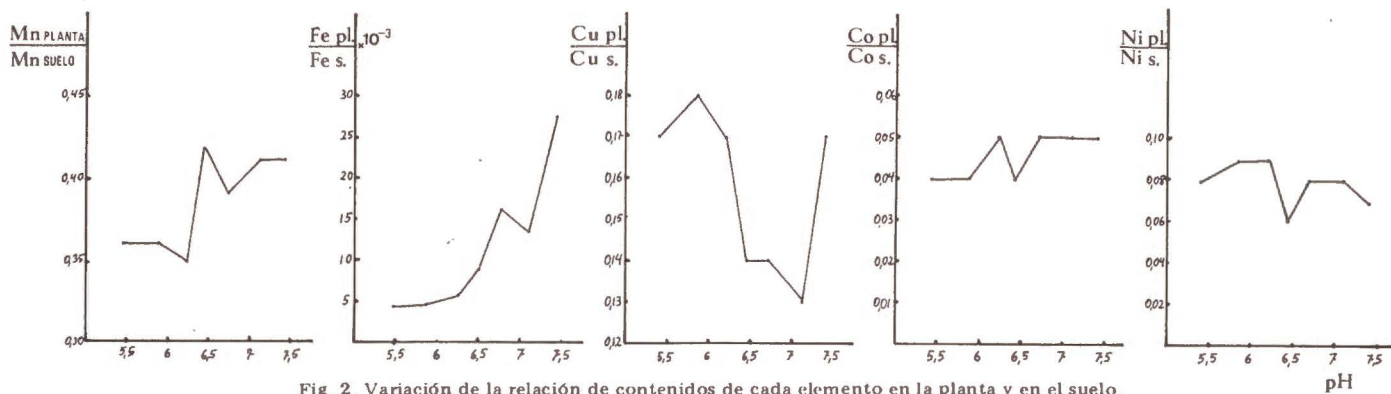


Fig. 2. Variación de la relación de contenidos de cada elemento en la planta y en el suelo, frente al pH

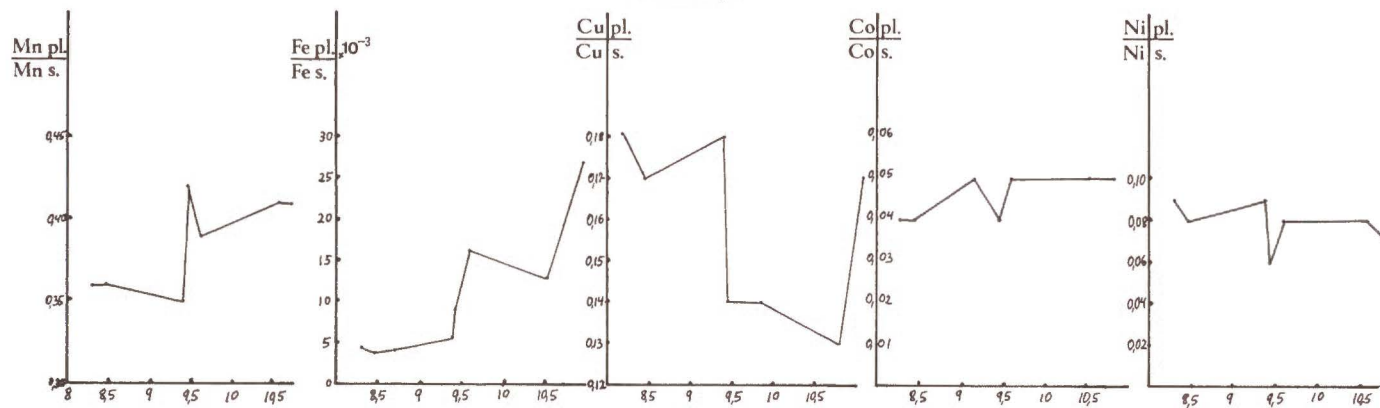


Fig. 3. Variación de la relación de contenidos de cada elemento en la planta y en el suelo, frente al porcentaje de materia orgánica

M.O. %

bano causa una disminución del contenido de Mn en la planta y, por lo tanto, de su disponibilidad en el suelo, otros han apreciado un efecto positivo en la absorción del Mn por el cultivo, sobre todo a pH próximo a la neutralidad. Debe tenerse en cuenta que el Mn interactúa con otros elementos, sobre todo con el Fe, ya que ambos son afectados de forma importante por las condiciones red-ox; el aumento de Fe puede hacer disminuir la absorción de Mn y viceversa (*Sillanpää, M., 1982*); y así se comprueba (Fig. 3) que cuando se produce un aumento en la relación de contenidos en planta/suelo de uno de estos elementos, descien- de o se estabiliza la citada relación para el otro.

Aunque el papel del pH en la asimilabilidad del Cu por los cultivos no está todavía muy claro, ya que la bibliografía aporta resultados contradictorios, la mayoría de los autores indican que la solubilidad disminuye ligeramente al hacerlo la acidez (*Sillanpää, M., 1972*); en este trabajo se ha apreciado esta disminución (Fig. 2), salvo en el caso del tratamiento con 160 Tm lodo/Ha, pero esta absorción por el cultivo frente al contenido total en el suelo, muy elevado con esta dosis, es aún menor que la del cultivo desarrollado sobre el suelo fertilizado inorgánicamente e igual a la del control, cuyo pH es mucho más ácido y a los que no se ha aportado cantidad alguna de Cu.

Debe resaltarse (Figs. 2 y 3) el paralelismo existente en las gráficas correspondientes a la variación de la relación de contenidos en planta/suelo frente al pH o al porcentaje de materia orgánica; esto es atribuible, en primer lugar, a que ambos factores varían de igual modo a causa de la adición de lodo y, por otra parte, se confirma de nuevo la influencia conjunta de ambos factores, ya que parte de las cantidades aportadas de estos elementos son insolubilizadas a pH próximos a la neutralidad, siendo complejada, otra parte, por la materia orgánica.

TABLA IV

Contenidos de Cu, Co, Ni, Mn y Fe en planta (parte aérea) p.p.m.

Tratamiento	Cu	Co	Ni	Mn	Fe
C	17a	3,80a	5,00a	98a	100a
F	17a	3,75a	5,10a	100a	102a
T ₁	17a	4,40ab	6,20ab	100a	122ab
T ₂	17a	3,90a	5,20a	124ab	194b
T ₃	19a	4,60ab	6,60b	120ab	360bc
T ₄	21ab	5,10b	7,00bc	134b	360bc
T ₅	31b	6,00bc	7,80c	140b	800c

En cada columna los valores seguidos de la misma letra no son significativamente diferentes para $P = 0,05$

Al estudiar los contenidos, de los elementos estudiados, en la planta (Tabla IV), se aprecia que, para Cu, Co y Ni, la dosis de 20 Tm/Ha no produce concentraciones significativamente diferentes en el cultivo, que en los desarrollados en el suelo fertilizado inorgánicamente y en el control. Para Mn y Fe, los contenidos en la planta, con esta dosificación (T-2), son significativamente diferentes a los de referencia (C y F), pero no excesivamente superiores, lo que confirma la validez del mencionado tratamiento.

Puesto que se ha comprobado que la adición de lodos produce, no sólo variaciones en los contenidos de diversos oligoelementos en suelo y planta, sino también, y muy especialmente, incrementos en el porcentaje de materia orgánica y en el pH del suelo (*Andrade Couce, M. L. y otros.*, 1985), y éstos son factores que, como ya ha sido señalado, influyen de manera fundamental en el contenido y disponibilidad de los elementos citados; se ha estudiado la posibles relación entre las variables mencionadas, calculando, para ello, los correspondientes coeficientes de correlación y ecuaciones de las rectas de regresión (Tabla V).

De este estudio se ha podido establecer:

a) Existencia de estrecha correlación positiva entre los contenidos asimilables en el suelo y en el cultivo.

b) Correlación positiva y muy significativa entre las cantidades asimilable y total de cada elemento en el suelo, decreciendo, esta relación desde antes de efectuar la siembra hasta después de realizar la recolección. Esta disminución se explica teniendo en cuenta la absorción de los elementos por el cultivo, que se realizará a partir de los contenidos disponibles en el suelo, acompañada de la dificultad de producir más solubilización a causa del notable descenso de la acidez y del incremento del porcentaje de materia orgánica.

c) Estrecha correlación positiva entre acidez y contenido asimilable antes de la siembra y después de la recolección; se aprecia un descenso en la significación de esta relación entre uno y otro caso, debido igualmente a las cantidades absorbidas por la planta.

Lo mismo ocurre al observar la relación existente entre el porcentaje de materia orgánica y las cantidades asimilables de los citados elementos en el suelo.

Por último (Fig. 4) se estudió el efecto directo y residual que la adición de lodo provoca en el contenido disponible de los oligoelementos estudiados, comparándolo con el suelo fertilizado inorgánicamente y con el control. Se puede señalar, en primer lugar, una respuesta creciente del suelo a cada tratamiento, incrementando progresivamente la disponibilidad al aumentar la dosis de lodo añadida, a los quince días de incubar en el suelo las distintas dosis; sin embargo, en todos los casos, salvo con las adiciones más elevadas, no aumenta muy significativamente este efecto respecto al control y al suelo fertilizado inorgánicamente.

Respecto al efecto residual, se señala la falta de respuesta uniforme de los distintos elementos. Sin embargo puede afirmarse que, para los tratamientos con 10 y 20 Tm lodo/Ha, no se producen importantes aumentos respecto a los suelos de referencia, salvo para el Mn. Con do-

TABLA V

Coefficientes de correlación y rectas de regresión

Correlaciones	N	Coefficiente de correlación	Ecuación de la recta de regresión
x = Cu asim. previo siembra y = Cu en cultivo	21	r = 0,76	y = 1,39 + 0,22x
x = Co asim. previo siembra y = Co en cultivo	21	r = 0,85	y = -2,59 + 1,19x
x = Ni asim. previo siembra y = Ni en cultivo	21	r = 0,92	y = -4,52 + 1,16x
x = Mn asim. previo siembra y = Mn en cultivo	21	r = 0,96	y = -37,08 + 0,52x
x = Fe asim. previo siembra y = Fe en cultivo	21	r = 0,99	y = 31,21 + 0,34x
x = Cu total y = Cu asim. previo siembra	21	r = 0,95	y = 0,35 + 4,27.10 ⁻² x
x = Cu total y = Cu asim. después recolección	21	r = 0,86	y = -0,11 + 4,14.10 ⁻² x
x = Co total y = Co asim. previo siembra	21	r = 0,86	y = -5,59 + 8,76.10 ⁻² x
x = Co total y = Co asim. después recolección	21	r = 0,78	y = 1,2 + 0,1x
x = Ni total y = Ni asim. previo siembra	21	r = 0,99	y = -3,85 + 8,34.10 ⁻² x
x = Ni total y = Ni asim. después recolección	21	r = 0,85	y = -3,27 + 8,34.10 ⁻² x
x = Fe total y = Fe asim. previo siembra	21	r = 0,99	y = -634,98 + 202,6x
x = Fe total y = Fe asim. después recolección	21	r = 0,98	y = -545,23 + 194,14x
x = Mn total y = Mn asim. previo siembra	21	r = 0,90	y = -76,59 + 0,33x
x = Mn total y = Mn asim. después recolección	21	r = 0,52	y = -20,27 + 0,15x
x = Cu asim. y = pH previo siembra	21	r = 0,89	y = -7,02 + 1,99x
x = Cu asim. y = pH después recolección	21	r = 0,82	y = -5,86 + 1,62x

TABLA V (Cont.)

Coefficientes de correlación y rectas de regresión

Correlaciones	N	Coefficiente de correlación	Ecuación de la recta de regresión
x = Co asim. y = pH previo siembra	21	r = 0,96	y = -7,79 + 1,64x
x = Co asim. y = pH después recolección	21	r = 0,54	y = -4,75 + 1,13x
x = Ni asim. y = pH previo siembra	21	r = 0,98	y = -10,04 + 1,96x
x = Ni asim. y = pH después recolección	21	r = 0,96	y = -10,64 + 2,04x
x = Fe asim. y = pH previo siembra	21	r = 0,91	y = -648,14 + 120,23x
x = Fe asim. y = pH después recolección	21	r = 0,85	y = -696,29 + 127,68x
x = Mn asim. y = pH previo siembra	21	r = 0,92	y = -57,74 + 12,47x
x = Mn asim. y = pH después recolección	21	r = 0,87	y = -62,11 + 13,26x
x = Cu asim. y = % M.O. previo siembra	21	r = 0,87	y = -3,65 + 0,97x
x = Cu asim. y = % M.O. después recolección	21	r = 0,78	y = -2,30 + 0,67x
x = Co asim. y = % M.O. previo siembra	21	r = 0,92	y = -5,93 + 0,91x
x = Co asim. y = % M.O. después recolección	21	r = 0,74	y = -2,52 + 0,46x
x = Ni asim. y = % M.O. previo siembra	21	r = 0,97	y = -10,96 + 1,43
x = Ni asim. y = % M.O. después recolección	21	r = 0,91	y = -6,12 + 0,84x
x = Fe asim. y = % M.O. previo siembra	21	r = 0,87	y = -643,19 + 81,5x
x = Fe asim. y = % M.O. después recolección	21	r = 0,98	y = -527,58 + 63,68x
x = Mn asim. y = % M.O. previo siembra	21	r = 0,88	y = -61,84 + 8,87x
x = Mn asim. y = % M.O. después recolección	21	r = 0,75	y = -26,62 + 4,80x

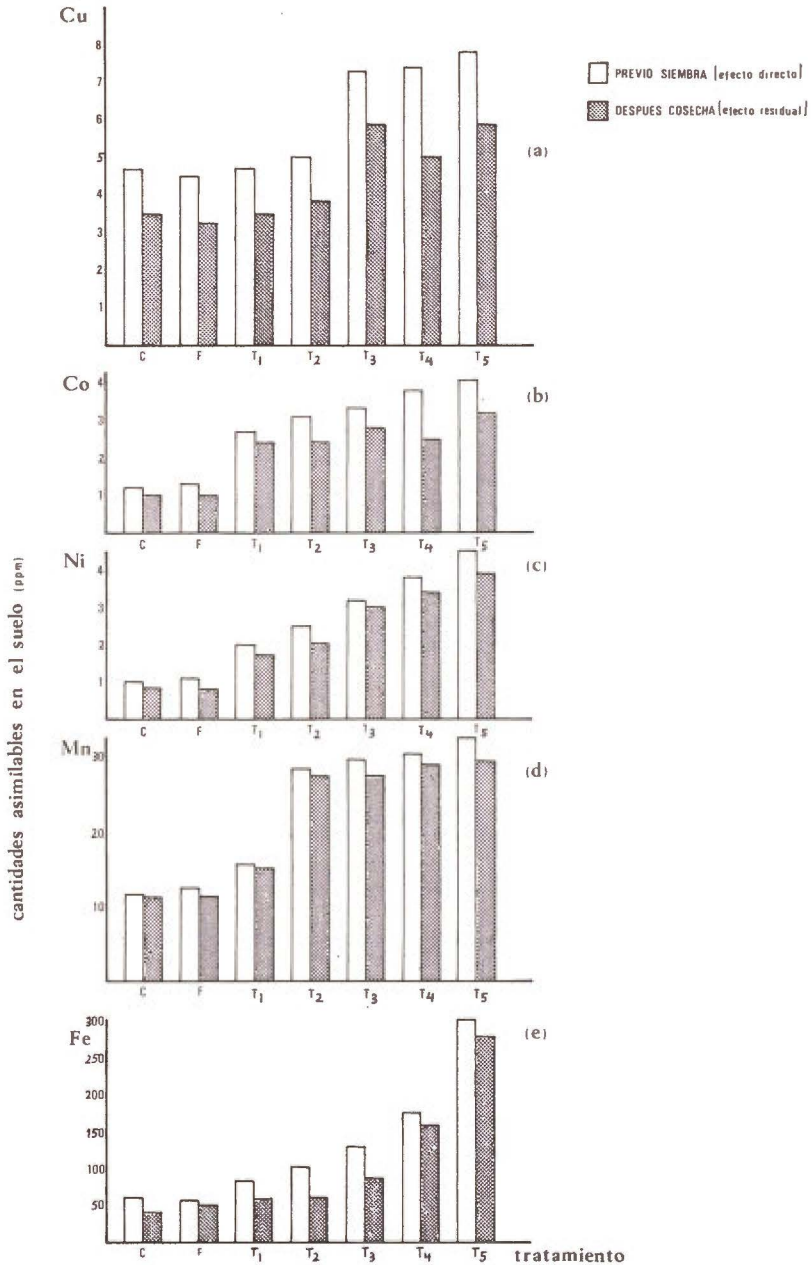


Fig. 4. Efecto directo y residual de los distintos tratamientos sobre la asimilabilidad de Cu, Co, Ni, Mn y Fe

sis más altas de lodo el efecto residual aumenta, pero sin alcanzar, en ningún caso, valores que pudieran resultar tóxicos, para ninguno de los elementos.

RESUMEN

Se estudia el efecto de la adición de cinco dosis diferentes de lodos residuales urbanos, sobre la disponibilidad y contenido total de Fe, Mn, Cu, Co y Ni en un suelo ácido, así como la absorción por *Hordeum vulgare* de estos elementos.

Se valoró el efecto directo de estos tratamientos por extracción de los citados oligoelementos a los quince días de aplicar las distintas dosis, apreciándose mayor respuesta a medida que se incrementa la proporción añadida.

La absorción por el cultivo es prácticamente igual con todos los tratamientos, ya que se produce insolubilización de los oligoelementos a causa del descenso de la acidez y del incremento del porcentaje de materia orgánica, se han obtenido los valores más adecuados con el tratamiento con 20 Tm lodo/Ha.

Se estableció una elevada correlación positiva entre los contenidos disponibles en el suelo y los absorbidos por el cultivo, así como entre las cantidades totales y asimilables de cada elemento en el suelo.

También existe estrecha correlación positiva entre acidez y contenidos asimilables, y entre porcentaje de materia orgánica y dichos contenidos.

Se estudió el efecto residual por extracción, del suelo, de los metales estudiados, una vez realizada la recolección, y se han obtenido desiguales respuestas para cada uno de ellos. Cabe destacar que, con el tratamiento de 20 Tm lodo/Ha, no se producen variaciones significativas respecto al control salvo para el Mn. No se alcanzan, en ningún caso, valores que pudieran resultar tóxicos.

BIBLIOGRAFIA

1. ANDRADE COUCE, M. L. et al, 1985. Caracterización química y poder fertilizante de los lodos residuales de la planta depuradora de aguas de Santiago de Compostela. *An. Edaf. y Agrob.* n.º 2197 (en prensa).
2. BOULD, C.; HEWITT, E. J. 1963. Mineral nutrition of plants in soils and in culture media. *Plant Physiology*, III, 15-133.
3. CHETELAT, A. A. 1978. Impact des éléments trace sur la croissance des plantes cultivées. *La Recherche Agronomique en Suisse*, 17, 3/4, 221-227.
4. FELIPO, M. T.; GARAU, M. A. 1984. Reutilización de lodos procedentes del tratamiento de aguas residuales a través del sistema suelo-planta. *El campo. Bol. de Información Agraria*. Banco de Bilbao, 212-214.
5. FIBIAN, K.; BORCHMANN, W. 1973. On the effect of combined copper and nitrogen fertilization on cereals. *Mathematisch-Naturwissenschaftliche Reihe*, 22, 3, 351-355.
6. GUPTA, U. C. 1972. Effects of manganese and lime on yield and on the concentrations of manganese, molybdenum, boron, copper and iron in the boot stage tissue of barley. *Soil Science*, 114 (2), 131-136.
7. KING, L. D.; DUNLOP, W. R. 1982. Application of sewage sludge to soils high in organic matter. *J. Environ. Qual.*, 11, 4, 608-616.
8. LAKANEN, E. 1967. The effect of liming on the adsorption and exchange characteristics of trace elements in soils. *Acta Agric. Scand.* 17, 131-139.
9. LAKANEN, E.; ERVIO, R. 1971. A comparison of eight extractants for the determination of plant available micronutrients in soils. *Acta Agr. Fenn.*, 123, 223-232.

10. MISHRA, D.; KAR, M. 1974. Nickel in plant growth and metabolism. *Botanical Review*, 40, (4), 395-452.
11. POMMELL, B. 1979. Comparation de l'utilisation par le maïs du phosphore des boues résiduares ou du phosphate monocalcique pour différents niveaux de zinc et de fer dans le substrat. *An. Agron*, 30, 443-453.
12. PURVES, D. 1979. Trace element contamination of soils from sewage sludge applications. *Proc. Int. Congr. on Management Control of Heavy Metals in the Environmental*, 485-488.
13. SILLANPAA, M. 1972. Los oligoelementos en los suelos y en la agricultura. F.A.O., 17, Roma, 71 pp.
14. SILLANPAA, M. 1982. Micronutrients and the nutrient status of soils. F.A.O. Roma, 444 pp.
15. WEBER, D.; GAYNOR, J. D. 1974. Extractable metals in mixtures of soils and sewage sludge. In *Sludge Handling an Disposal Seminar*. Conference Proceedings n.º 2, 249-266.
16. WRIGHT, J. LAWTON, K. 1954. Cobalt investigations on some Nova Scotia Soils. *Soil Sci*, 77, 95-105.

Recibido para publicación: 12-IX-85.

ADICION DE LODOS RESIDUALES A UN SUELO ACIDO: INFLUENCIA SOBRE EL CONTENIDO TOTAL, DISPONIBILIDAD Y ABSORCION POR EL CULTIVO, DE Zn, Pb, Cr Y Cd

Por

M. L. ANDRADE COUCE(*), M. BAO IGLESIAS(**) y
F. GUITIAN OJEA(***)

SUMMARY

ADDITION OF SEWAGE SLUDGES TO AN ACID SOIL: INFLUENCE ON THE TOTAL CONTENT, AVAILABILITY AND ABSORPTION BY THE CULTURE, OF Zn, Pb, Cr AND Cd

It has been studied the direct effect, on the soil and the culture, and the residual effect produced by the addition of five different doses of a sewage sludge to an organic acid soil.

The experiences have been done in a greenhouse comparing with a control and a soil with inorganic fertilization.

The availability of the studied elements is seen remarkably attenuated by the decreasing of the acidity and the increasing of the percentage of organic matter.

The assimilation, of these metals, by the culture is very low comparing with the added quantities, the biggest absorption is produced in the case of Cr and increases linearly with the dosage; in the rest a stabilization from the treatment with 20 Ton sludge/Ha. is obtained.

The lowest absorption of Pb, Cr and Cd, by the culture, appears at pH 6,5, and 6 for the Zn, corresponding with the treatments with 20 and 10 Ton/Ha.

It has been established a positive and close correlation between total and available contents, of each element, before sowing, this relation decreases when the harvesting is done, disappearing in the case of Pb because of the insolubilization produced by the increasing of the pH and by the presence of important quantities of Ca.

It exists also a very significant and positive correlation between acidity and available contents before the development of the culture which decreases when the harvesting is done; the same happens between the mentioned contents and the percentage of organic matter.

The lowest residual effect is produced with the treatment of 20 Ton/Ha, that for Zn, Cr and Cd is inferior even to the control soil. The biggest doses can cause toxicity if we persist in the additions. A new application is not necessary before starting the development of another harvest, since the soil has adequate levels of macro and micronutrients.

INTRODUCCION

El gran aumento de la utilización de lodos residuales urbanos en agricultura obliga a establecer a priori el contenido en microelementos con-

(*) Colegio Universitario de Vigo, Universidad de Santiago.

(**) Departamento de Química General, Facultad de Química, Universidad de Santiago.

(***) Departamento de Edafología, Facultad de Farmacia, Universidad de Santiago.

taminantes del lodo para poder establecer las dosis de aplicación a fin de evitar problemas ecológicos.

Dentro de estos elementos existen algunos, como Cd, Cr y Pb, que no son esenciales para las plantas ni para los animales, y son tóxicos, en mayor o menor grado, para ambos. Sin embargo hay otros, como el Zn, que siendo necesarios para la vida vegetal y animal, a determinadas concentraciones pueden resultar tóxicos.

Las repetidas aplicaciones de lodos residuales a suelos agrícolas, aunque contengan cantidades muy bajas de estos oligoelementos, pueden llegar a ocasionar contaminación, por lo que es necesario, para prevenirla, definir el máximo tolerable para cada elemento (*Purves, D., 1979*), ya que en algunos países como Gran Bretaña, existen normas estatales que indican el máximo permitido de cada elemento contaminante en los lodos de utilización agrícola, siendo para los estudiados aquí, 15, 1000, 1500 y 2500 p.p.m. de Cd, Cr, Pb y Zn respectivamente.

Se han realizado numerosos trabajos acerca de los efectos de la adición de estos metales a suelos de cultivo, introducidos o no en diversos subproductos orgánicos; se sabe pues que el Zn es un elemento esencial para plantas y animales, pero que puede llegar a ser fitotóxico a concentraciones elevadas, por lo que esta toxicidad es una barrera que protege a la cadena trófica (*Chaney, R. L., 1973*).

Este, junto con el Fe, es el metal que se encuentra en mayor concentración en los lodos residuales utilizados en este trabajo, por lo que la dosis de aplicación debe considerarse atendiendo fundamentalmente a ambos.

Se ha observado que el rendimiento de los cultivos de cereales disminuye, cuando la concentración foliar es del orden de 500 p.p.m. de Zn (*King, L. D. y Morris, H. D., 1972*), debiendo señalar también que las plantas presentan mayores contenidos de este metal si se añade al suelo en forma de sales inorgánicas que si se aporta en lodos residuales (*Cunningham, J. D. et al., 1975*).

Debe tenerse en cuenta que la asimilabilidad del Zn está afectada por las cantidades de P y Ca en el suelo, así como por las interacciones con otros metales, este elemento está generalmente más disponible en suelos ácidos que en alcalinos, correspondiendo el mínimo a valores de pH comprendidos entre 6 y 7, ya que se produce la formación de cincatos insolubles (*Sillanpää, M., 1972*).

En cuanto al Pb, éste es uno de los metales pesados más importantes desde el punto de vista de la contaminación; en general la capacidad de un suelo para absorber Pb es tanto mayor cuanto lo sea su contenido en materia orgánica (*Ill'in, V. B.; Stepanova, M. D., 1980*).

No es un elemento indispensable para los cultivos y, en concentraciones elevadas, es tóxico para las raíces (*Chetelat, A. A., 1978*); sin embargo, concentraciones crecientes de Ca disminuyen su disponibilidad para las plantas (*Sortenberg, A., 1974*).

Debe pues considerarse que los cultivos pueden desarrollarse con aparente normalidad y contener cantidades elevadas de este metal, que se

rían, una vez consumidos, causantes de efectos tóxicos en el hombre y los animales (*Amberger, A.*, 1974).

Por lo que respecta al Cr, éste en pequeñas concentraciones favorece el crecimiento de las plantas ya que aumenta su actividad fotosintética; sin embargo, dosis elevadas de este elemento en el suelo, reducen el desarrollo de los cultivos.

Se ha constatado que la toxicidad de este metal depende fundamentalmente de su grado de oxidación, la forma hexavalente es más tóxica que la trivalente (*Mortvedt, J. J.*; *Giordano, P. M.*, 1975) y su disponibilidad está afectada por las interacciones con otros metales, sobre todo con Fe, Zn y Mn.

Muchos investigadores han resaltado los efectos nefastos del Cd sobre suelos y cultivos; reduce la fotosíntesis, el crecimiento de las raíces, provoca clorosis y modifica la actividad enzimática (*Haghiri, F.*, 1973; *Hasset, J. J. et al.*, 1976; *Williams, C. H. y David, D. J.*, 1977), por lo que este elemento debe estar en muy bajas concentraciones en los suelos, además su disponibilidad está muy condicionada por interacciones con otros metales de entre los que destacan Zn, Mn y Pb (*Saitoh, M. et al.*, 1975).

Por todo lo anteriormente expuesto, en este trabajo se estudia el efecto directo que producen cinco dosis diferentes de lodos residuales procedentes de la estación depuradora de Santiago de Compostela sobre la disponibilidad y contenido total de Zn, Pb, Cr y Cd, en un suelo orgánico ácido, así como la absorción por *Hordeum vulgare*, var. Artlas, de estos elementos; ya que se ha establecido que los suelos orgánicos son los más adecuados para ser tratados con lodos (*King, L. D.*, 1982).

La selección de estos metales se ha hecho entendiendo que, por su concentración en el lodo (caso del Zn) o por sus características de comportamiento, son los que pueden provocar mayor contaminación en el suelo o en los cultivos.

MATERIALES Y METODOS

Materiales

Se ha seleccionado el horizonte A de un cambisol húmico (textura franca) recogido en el municipio de Vigo, provincia de Pontevedra, La elección de este tipo de suelo se ha efectuado teniendo en cuenta que es uno de los más comunes de entre los suelos de cultivo de la zona.

El lodo residual aplicado a este suelo procede de la planta depuradora de aguas de Santiago de Compostela. El tratamiento de estas aguas ha sido indicado en (*Andrade Couce, M. L. et al.*, n.º 2197, 1985).

Los contenidos de Zn, Pb, Cr y Cd del lodo y del suelo, así como los datos analíticos generales de éste figuran en la Tabla I.

Métodos

Las experiencias se han realizado por triplicado, en invernadero y en

TABLA I

Datos analíticos generales y contenidos de Zn, Pb, Cr y Cd del suelo y del lodo residual

Datos analíticos	Suelo	Lodo residual
pH (H ₂ O)	5,45	12,39
pH (ClK)	4,50	12,20
C %	4,90	11,85
M.O. %	8,45	20,43
N %	0,49	1,17
C/N	9,38	10,12
P (asim.) p.p.m.	15,00	102,00
K ₂ O %	3,46	1,50
Zn (extr.) p.p.m.	55,00	88,00
Zn (total) p.p.m.	602,00	1765,00
Pb (extr.) p.p.m.	4,00	38,00
Pb (total) p.p.m.	106,00	240,00
Cr (extr.) p.p.m.	6,20	36,00
Cr (total) p.p.m.	60,00	520,00
Cd (extr.) p.p.m.	0,10	0,50
Cd (total) p.p.m.	6,00	7,50

tiestos. Toda la metodología experimental en cuanto a tratamientos, siembra, etc., ha sido descrita en (*Andrade Couce, M. L. et al.*, n.º 2294, 1985).

Los métodos analíticos utilizados, tanto para la determinación de los oligoelementos en lodos y suelo, como para su análisis en cultivos han sido indicados en (*Andrade Couce, M. L. et al.*, n.º 2294, 1985).

RESULTADOS Y DISCUSION

En la Tabla I figuran los datos analíticos del suelo y del lodo residual utilizados, destacando en éste un importante contenido de Zn y muy bajo de Cd, siendo éstos, junto con los de Pb y Cr, muy inferiores a los máximos aceptados en lodos residuales municipales aplicables a fines agrícolas (*Felipó, M. T. y Oriol, M. A.*, 1984); estos contenidos indican la viabilidad de este lodo para ser aplicado al suelo como fertilizante organomineral, sobre todo teniendo en cuenta su elevado pH, porcentaje de materia orgánica y contenido de macronutrientes.

Para estudiar el efecto directo que la aplicación del lodo produce sobre la disponibilidad y contenido total de Zn, Pb, Cr y Cd, se extraen dichos elementos del suelo, después de haber incubado los cinco dife-

rentes tratamientos durante quince días (Tabla II), apreciándose mayores contenidos a medida que se aumenta la dosificación, sin embargo este aumento se manifiesta mucho más claramente en el contenido total.

Lo más destacable es que las cantidades disponibles de Cr y Cd no son todo lo significativamente diferentes que cabría esperar, para los distintos tratamientos, teniendo en cuenta que cada uno de ellos duplica la dosis del precedente, por lo que se confirma que la asimilabilidad se ve atenuada a medida que decrece la acidez y aumenta el porcentaje de materia orgánica.

El Zn presenta contenidos disponibles significativamente distintos con cada tratamiento y también en comparación con los suelos de referencia (C y F), consecuencia de la cantidad, bastante importante, de este elemento, aportada por cada dosis.

Se aprecia pues que la incorporación de este subproducto al suelo no mejora, en gran medida, la disponibilidad de los elementos estudiados, sino que simplemente aporta pequeñas cantidades de los mismos en forma asimilable.

Para completar este estudio y, dado que uno de los aspectos más importantes de los metales potencialmente tóxicos en el lodo es su acumulación por las plantas, se analiza su absorción por el cultivo, observándose que ésta es muy baja para todos los elementos estudiados, frente a las cantidades añadidas (Fig. 1). La mayor absorción por la planta se produce en el caso del Cr que crece casi linealmente con la dosificación; en los restantes metales se produce una práctica estabilización de las cantidades asimiladas, debiendo indicar que, para Pb y Cd, potencialmente los más tóxicos de entre los elementos estudiados, la absorción por la planta es mínima. Variaciones de este tipo han sido observadas ya por *Valdares, J. M. A. S. et al.* (1983), señalando también que la acumulación por la planta depende fundamentalmente de la especie y de la química de cada elemento en el suelo, influida principalmente por la acidez del mismo.

Los contenidos de cada uno de estos elementos en la planta (Fig. 2), manifiestan respuestas diferentes del cultivo para cada uno de ellos, debiendo notarse que, con ninguno de los tratamientos, se aprecian concentraciones próximas a los límites de toxicidad y sobre todo que, para Pb y Cr los contenidos en el cultivo son inferiores, con el tratamiento T-2 que los desarrollados en el suelo control y en el fertilizado inorgánicamente, y prácticamente iguales los de Cd, elevándose ligeramente en el caso del Zn; esto confirma lo concluido en anteriores trabajos (*Andrade Couce, M. L. et al.*, 1985) donde se ha comprobado que con el mencionado tratamiento se obtenía mayor rendimiento de la cosecha, siendo, por lo tanto, menor la absorción de metales. Además esta dosificación de 20 Tm lodo/Ha es la que proporciona valores más adecuados de acidez y de macronutrientes para el desarrollo de este cultivo.

De todo lo anterior se concluye (Tabla IV) la escasa o nula significación que los distintos tratamientos proporcionan a las cantidades de Pb, Cr y Cd en el cultivo, siendo ligeramente distintas en el caso del Zn por

TABLA II

Contenido de Zn, Pb, Cr y Cd (asimilable y total) en el suelo, antes de proceder a la siembra (p.p.m.)

Tratamiento	Zn		Pb		Cr		Cd	
	Asim.	Total	Asim.	Total	Asim.	Total	Asim.	Total
C	55a	602a	4,00a	106a	6,2a	60a	0,10a	6,00a
F	55a	604a	3,90a	102a	6,3a	61a	0,10a	6,20a
T ₁	62ab	635ab	16,00ab	118ab	7,3a	76ab	0,14a	7,20a
T ₂	71b	648ab	18,00ab	134b	8,8ab	83ab	0,15ab	7,90ab
T ₃	78bc	677b	23,00b	190bc	9,4ab	120b	0,17ab	8,20ab
T ₄	86c	704bc	25,00b	215c	10,0ab	130b	0,20ab	8,80b
T ₅	92cd	728bc	29,00bc	225cd	11,3b	170bc	0,26b	9,60b

En cada columna los valores seguidos de la misma letra, no son significativamente diferentes para P = 0,05

TABLA III

Contenido de Zn, Pb, Cr y Cd (asimilable y total) en el suelo, una vez realizada la recolección (p.p.m.)

Tratamiento	Zn		Pb		Cr		Cd	
	Asim.	Total	Asim.	Total	Asim.	Total	Asim.	Total
C	43,2a	565bc	3,80a	100a	6,0a	58a	0,08a	5,5a
F	44,0a	570bc	3,70a	100a	6,0a	59a	0,08a	5,5a
T ₁	40,4a	300a	12,00c	110a	6,0a	59a	0,12ab	6,6ab
T ₂	42,0a	425ab	8,00b	125ab	6,3a	59a	0,10ab	6,7ab
T ₃	54,0ab	470b	6,00ab	175b	8,0ab	108b	0,12ab	6,3ab
T ₄	69,2b	620c	9,20b	150bc	9,2ab	96ab	0,18b	7,2b
T ₅	70,0b	600c	10,40bc	200c	9,3ab	103b	0,23bc	7,9bc

En cada columna los valores seguidos de la misma letra, no son significativamente diferentes para $P = 0,05$

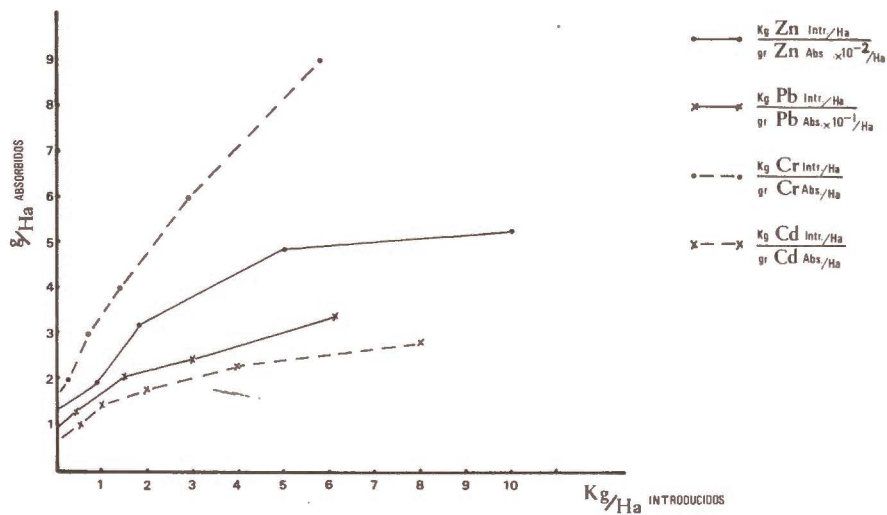


Fig. 1. Variación de las cantidades de Zn, Pb, Cr y Cd absorbidas por el cultivo frente a las aportadas por cada tratamiento

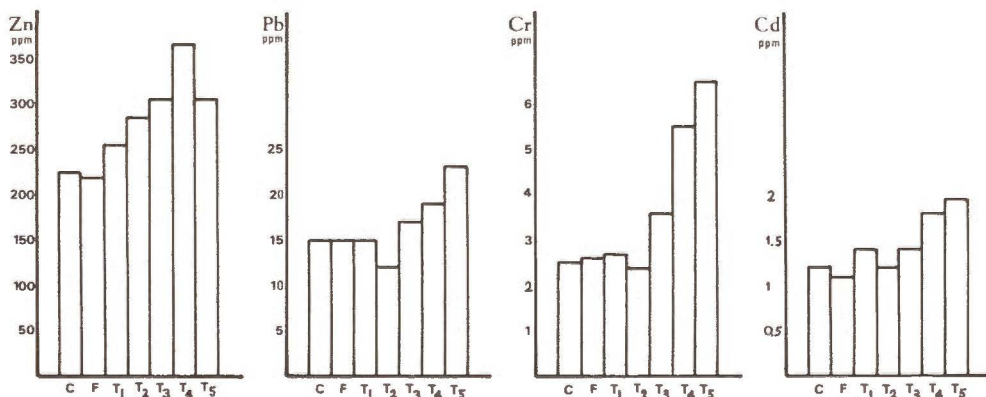


Fig. 2. Contenido de Zn, Pb, Cr y Cd en el cultivo según los distintos tratamientos

TABLA IV

Contenidos de Zn, Pb, Cr y Cd (p.p.m.) en planta (parte aérea)

Muestra	Zn	Pb	Cr	Cd
C	224a	15a	2,5 a	1,20a
F	220a	15a	2,6 a	1,10a
T ₁	264ab	15a	2,7 a	1,40a
T ₂	286b	12a	2,5 a	1,20a
T ₃	306bc	17ab	3,60ab	1,40a
T ₄	366c	19ab	5,50b	1,80ab
T ₅	304bc	23b	6,50bc	1,95ab

En cada columna los valores seguidos de la misma letra no son significativamente diferentes para $P = 0,05$

las causas ya expuestas, de todos modos debe destacarse que el Zn absorbido por el cultivo es inferior al evaluado como disponible, lo que ha sido ya señalado por diversos autores al utilizar lodos residuales como fertilizantes de suelos, comparando diversos procedimientos de extracción química (*Pascal, M. D. y Felipó, M. T., 1984*).

Puesto que se ha señalado repetidamente que las variaciones de acidez y del contenido de materia orgánica pueden afectar a la asimilabilidad de estos elementos por las plantas, se ha realizado un estudio de la citada variación; en primer lugar (Figs. 3 y 4) observando el cambio de las relaciones de contenidos, de los mencionados metales, en planta y suelo frente al pH y porcentaje de materia orgánica. Para los casos de Pb, Cr y Cd, a pH próximos a 6,5 se produce la menor absorción por el cultivo, este valor corresponde al tratamiento con 20 Tm lodo/Ha, que ya ha sido señalado repetidamente como el más adecuado.

La variación, de la citada relación, con el porcentaje de materia orgánica es absolutamente paralela a la anterior (Fig. 4), y corresponde, el valor mínimo de absorción de Pb, Cr y Cd a contenidos de materia orgánica del 9,5% aproximadamente, que es el proporcionado por el tratamiento T-2 que coincide con aquel donde se origina el valor más aceptable de la relación C/N y el aporte necesario, para este suelo, de N, P y K (*Andrade Couce, M. L. et al., 1985*).

En el caso del Zn, el mínimo de absorción se produce a pH 6 que es el valor señalado por diversos autores (*Sillanpää, M., 1972*) para dar lugar a la mínima disponibilidad de este elemento.

Del estudio de la Tabla III en la que se indican los contenidos disponible y total, de cada uno de los elementos, una vez efectuada la recolección, se comprueba, por comparación con la Tabla II, la baja absorción por la planta de todos los metales analizados; al mismo tiempo se confirma, con los datos correspondientes al tratamiento T-2, que el sue-

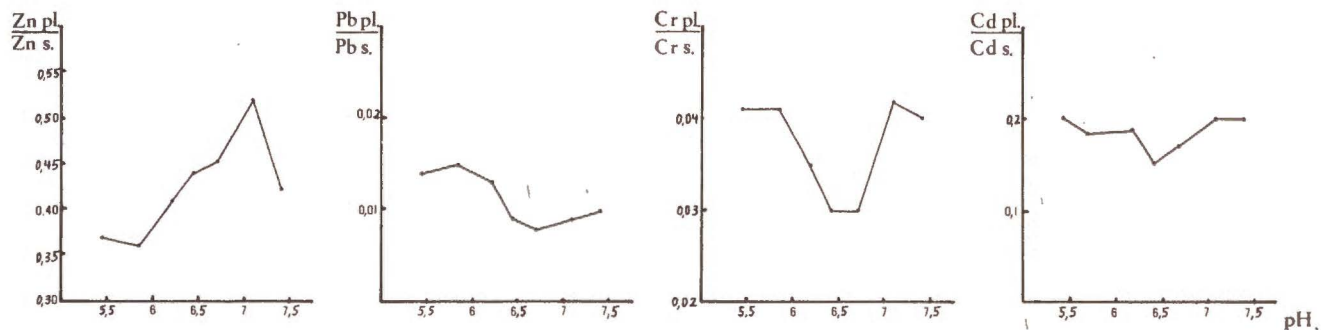


Fig. 3. Variación de la relación de contenidos de cada elemento en la planta y en el suelo frente al pH

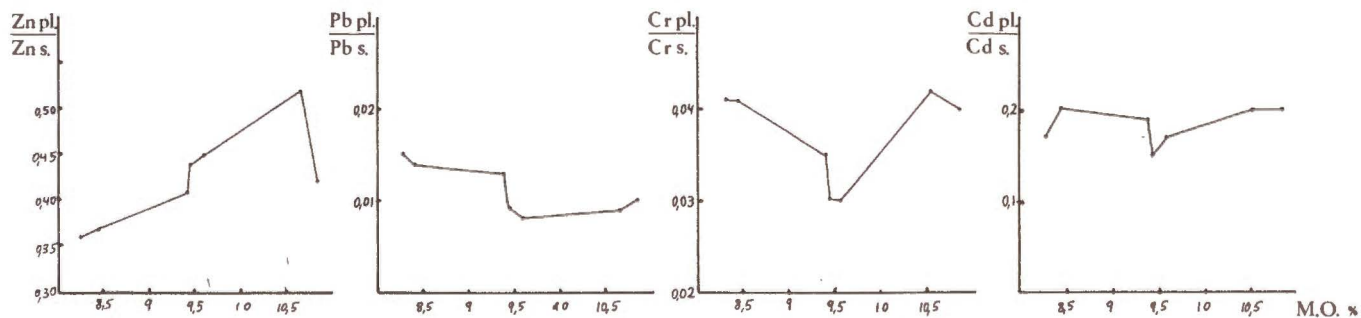


Fig. 4. Variación de la relación de contenidos de cada elemento en la planta y en el suelo frente al porcentaje de materia orgánica

lo queda, con esta dosificación, con unos niveles mínimos de oligoelementos para proceder a una nueva siembra, iguales o inferiores a los del suelo control al principio de la experiencia, conteniendo, sin embargo, mayores cantidades de macronutrientes, y manteniendo un pH muy adecuado para el desarrollo de un nuevo cultivo.

Por otra parte, puesto que se ha comprobado que la acidez y porcentaje de materia orgánica son factores que condicionan de manera muy directa el contenido y disponibilidad de estos elementos en el suelo; se han efectuado cálculos de coeficientes de correlación, antes de la siembra y después de la recolección, entre las variables disponibles, obteniéndose las correspondientes ecuaciones empíricas (Tabla V).

De este estudio debe destacarse la existencia de estrecha correlación positiva, en primer lugar, entre los contenidos total y disponible de ca-

TABLA V

Coefficientes de correlación y rectas de regresión

Correlaciones	N	r	Recta de regresión
x = Zn asim. previo siembra y = Zn en cultivo	21	0,88	$y = -0,11 + 0,25x$
x = Pb asim. previo siembra y = Pb en cultivo	21	0,65	$y = 12,60 + 0,23x$
x = Cr asim. previo siembra y = Cr en cultivo	21	0,86	$y = 5,27 + 0,92x$
x = Cd asim. previo siembra y = Cd en cultivo	21	0,94	$y = -7,7 \cdot 10^{-2} + 0,17x$
x = Zn total previo siembra y = Zn asim. previo siembra	21	0,99	$y = -127,99 + 0,30x$
x = Zn total después cosecha y = Zn asim. después cosecha	21	0,64	$y = 15,23 + 7,21 \cdot 10^{-2}x$
x = Pb total después cosecha y = Pb asim. después cosecha	21	0,91	$y = -9,77 + 0,17x$
x = Pb total después cosecha y = Pb asim. después cosecha	21	—	—
x = Cr total previo siembra y = Cr asim. previo siembra	21	0,96	$y = 3,95 + 4,4 \cdot 10^{-2}x$
x = Cr total después cosecha y = Cr asim. después cosecha	21	0,89	$y = 2,88 + 3,75 \cdot 10^{-2}x$
x = Cd total previo siembra y = Cd asim. previo siembra	21	0,97	$y = -0,16 + 4,18 \cdot 10^{-2}x$
x = Cd total después cosecha y = Cd asim. después cosecha	21	0,92	$y = -0,25 + 5,95 \cdot 10^{-2}x$
x = Zn asim. previo siembra y = pH	21	0,98	$y = 64,7 + 21,08x$

TABLA V (Cont.)

Coefficientes de correlación y rectas de regresión

Correlaciones ¹	N	r	Recta de regresión
x = Zn asim. y = pH después cosecha	21	0,86	y = -68,58 + 19,17x
x = Pb asim. y = pH previo siembra	21	0,97	y = -72,91 + 13,94x
x = Pb asim. y = pH después cosecha	21	0,38	y = -98,43 + 4,5x
x = Cr asim. y = pH previo siembra	21	0,98	y = -9,35 + 2,76x
x = Cr asim. y = pH después cosecha	21	0,90	y = -10,00 + 2,77x
x = Cd asim. y = pH previo siembra	21	0,96	y = -0,35 + 7,98.10 ⁻² x
x = Cd asim. y = pH después cosecha	21	0,44	y = 1,22 - 0,16x
x = Zn asim. y = M.O. previo siembra	21	0,96	y = -74,32 + 15,35x
x = Zn asim. y = M.O. después cosecha	21	0,88	y = -32,42 + 8,47x
x = Pb asim. y = M.O. previo siembra	21	0,93	y = -57,65 + 7,75x
x = Pb asim. y = M.O. después cosecha	21	0,30	y = -2,32 + 1,14x
x = Cr asim. y = M.O. previo siembra	21	0,95	y = -6,48 + 1,55x
x = Cr asim. y = M.O. después cosecha	21	0,93	y = -4,99 + 1,24x
x = Cd asim. y = M.O. previo siembra	21	0,99	y = -0,31 + 4,90.10 ⁻² x
x = Cd asim. y = M.O. después cosecha	21	0,98	y = -0,27 + 4,10.10 ⁻² x

da uno de los elementos antes de proceder a la siembra, que desciende una vez efectuada la recolección. Carecen de relación entre sí las cantidades de Pb total y asimilable, una vez recogido el cultivo, a causa de la gran insolubilización de este elemento ocasionada por el incremento del contenido de materia orgánica y por la gran disminución de la acidez del suelo. Por otra parte, para este metal, debe tenerse en cuenta que su disponibilidad está muy afectada por la presencia de Ca, y este

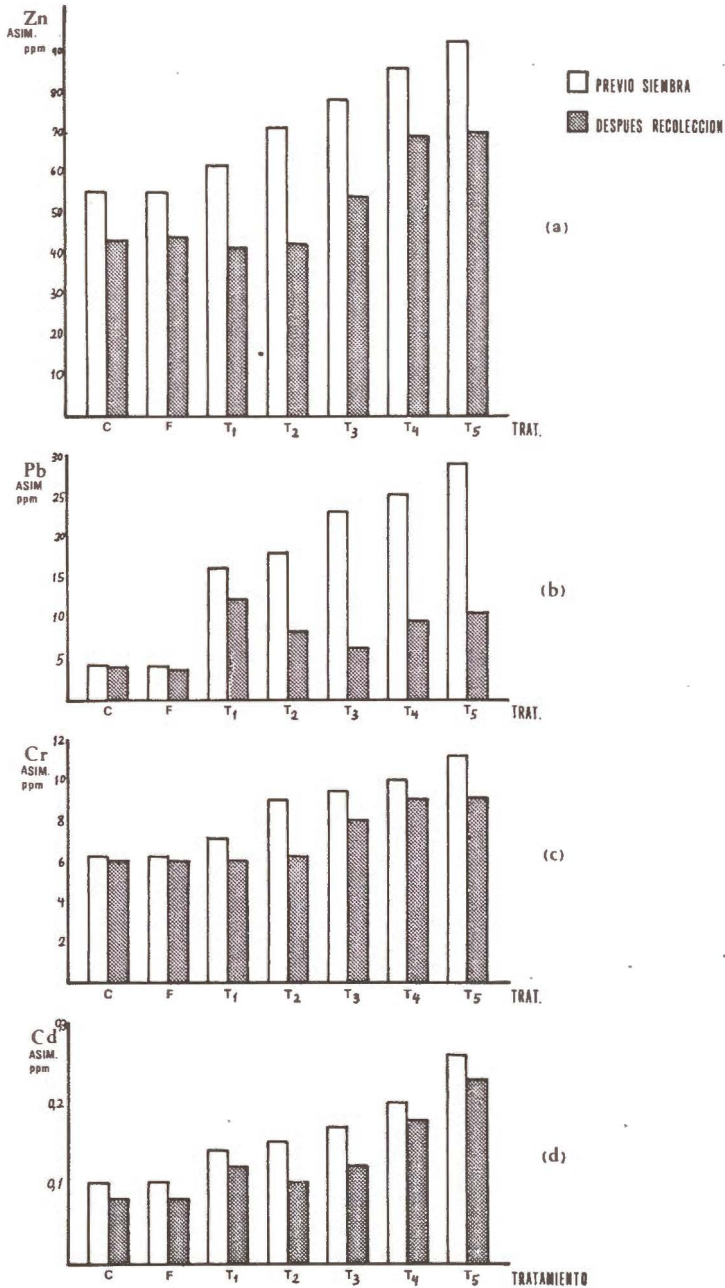


Fig. 5. Efecto directo y residual sobre la disponibilidad de Zn, Pb, Cr y Cd, causado por los diferentes tratamientos

elemento es aportado por el lodo en cantidades importantes, lo que contribuye a rebajar su asimilabilidad y explica la inexistencia de la correlación mencionada.

Existe igualmente una gran relación entre las cantidades disponibles de cada uno de los elementos y el pH, y también con el contenido de materia orgánica, debiendo señalar la mayor significación de esta correlación cuando se evalúa antes de proceder a la siembra que después de haber realizado la recolección, debido, como ya se ha indicado, a la absorción por el cultivo y a la insolubilización producida por el descenso de la acidez y por el incremento del porcentaje de materia orgánica.

La variación de la relación, entre ambos casos, es muy poco perceptible para el Cd y muy importante para el Pb.

Por último, en la Figura 5, se indican claramente los efectos directo y residual que, sobre la disponibilidad de estos elementos producen los distintos tratamientos. Cabe destacar que las respuestas son bastante similares para todos ellos; en primer lugar, el efecto directo se caracteriza por ofrecer mayores contenidos asimilables a medida que se incrementa la dosis de lodo añadida, y sin embargo, el efecto residual presenta ligeras variaciones.

Para Zn, Cr y Cd, el menor contenido disponible, una vez realizada la recolección, aparece en el suelo al que se han añadido 20 Tm lodo/Ha, inferior aún a la del control y al del suelo fertilizado inorgánicamente.

En el caso del Pb, con este tratamiento, el suelo posee niveles muy bajos de este metal, así como con la dosis de 40 Tm/Ha, pero ligeramente superiores a las de los suelos de referencia (Fig. 5b).

De todo lo anterior se concluye que el lodo residual experimentado es un buen fertilizante organomineral para suelos orgánicos ácidos, y no produce toxicidad por metales pesados en el suelo ni en el cultivo.

Se confirma que el tratamiento con 20 Tm lodo/Ha, es el más adecuado para este tipo de suelo.

No es necesaria una nueva aplicación antes de efectuar otra siembra, ya que el suelo posee niveles adecuados de macro y micronutrientes para desarrollar un nuevo cultivo.

Las dosis más elevadas pueden llegar, después de repetidas aplicaciones, a provocar contaminación por acumulación, sobre todo de Pb y Cd en el suelo.

RESUMEN

Se ha estudiado el efecto directo, sobre el suelo y el cultivo, y el residual, producidos por la adición de cinco dosis diferentes de un lodo residual a un suelo orgánico ácido.

Las experiencias se han realizado en invernadero, comparando con un control y con un suelo con fertilización inorgánica.

La disponibilidad de los elementos estudiados se ve notablemente atenuada por el descenso de la acidez y por el incremento del porcentaje de materia orgánica.

La asimilación, de estos metales, por el cultivo es muy baja frente a las cantidades añadidas, la mayor absorción se produce en el caso del Cr y crece linealmente con la dosificación; en los restantes se obtiene una estabilización a partir del tratamiento con 20 Tm lodo/Ha.

La menor absorción de Pb, Cr y Cd, por el cultivo, se produce a pH 6,5 y 6 para el Zn, correspondientes a los tratamientos con 20 y 10 Tm/Ha.

Se ha establecido estrecha correlación positiva entre contenidos total y disponible, de cada elemento, antes de proceder a la siembra, esta relación decrece una vez realizada la recolección, desapareciendo en el caso de Pb a causa de la insolubilización producida por el aumento del pH y por la presencia de cantidades importantes de Ca.

Existe también correlación muy significativa y positiva entre acidez y contenidos asimilables, antes del desarrollo del cultivo, que desciende una vez realizada la recolección; lo mismo ocurre entre los mencionados contenidos y el porcentaje de materia orgánica.

El menor efecto residual se produce con el tratamiento con 20 Tm/Ha, que para Zn, Cr y Cd es inferior aún al del suelo control. Las dosis más elevadas pueden llegar a causar toxicidad si se persiste en las adiciones. No es necesaria una nueva aplicación antes de proceder al desarrollo de otra cosecha, ya que el suelo posee niveles adecuados de macro y micronutrientes.

BIBLIOGRAFIA

1. AMBERGER, A. 1974. Pb absorption and effect and N-metabolism of plants. Proc. 17 th Int. Col. on Plant Anal. And Fer. Problems. Hannover.
2. ANDRADE COUCE, M. L. et al, 1985. Caracterización química y poder fertilizante de los lodos residuales de la planta depuradora de aguas de Santiago de Compostela. *An. Edaf. y Agrob.*, n.º 2197 (en prensa).
3. ANDRADE COUCE, M. L. et al, 1985. Poder fertilizante de los lodos residuales %efecto sobre el contenido total y disponibilidad de Fe, Mn, Cu, Co y Ni. *An. Edaf. y Agrob.*, n.º 2294 (en prensa).
4. CUNNINGHAM, J. D.; KENNEY, D. R.; RYAN, J. A. 1975. Phytotoxicity and uptake of metals added to soils as inorganic salt or in sewage sludge. *J. Environ. Qual.*, 4, 460-462.
5. CHANNEY, R. L. 1973. Crop and Food Chain effect of trace elements in sludges and effluents. *Proc. of the Joint Conf. on recycling municipal sludges and effluents in land.* 129-141.
6. CHETELAT, A. A. 1978. Impact des éléments trace sur la croissance des plantes cultivées. *La Recherche Agronomique en Suisse*, 17, 3/4, 221-227.
7. FELIPO, M. T.; GARAU, M. A. 1984. Reutilización de lodos procedentes del tratamiento de agua residuales a través del sistema suelo-planta. *El Campo. Bol. de Información Agraria.* Banco de Bilbao, 212-214.
8. HAGHIRI, F. 1973. Cadmium uptake by plants. *J. Environ. Qual.* 2, 1, 93-96.
9. HASSET, J. J.; MILLER, J. E.; KOEPPE, D. E. 1976. Interaction of lead and cadmium on maize root growth and uptake of lead and cadmium by roots. *Environ. Poll.*, 11, 4, 297-302.

10. IL'IN, V. B.; STEPANOVA, M. D. 1980. Distribution of lead and cadmium in wheat plants growing in soils contaminated by these metals. *Agrokhimiya*, 5, 114-119.
11. KING, G. L.; MORRIS, H. D. 1972. Land disposal of liquid sewage sludge II. The effect of soil Mn, Zn and growth and chemical composition of rye. *J. Environ. Qual.*, 4, 425-429.
12. KING, L. D.; DUNLOP, W. R. 1982. Application of sewage sludge to soils high in organic matter. *J. Environ. Qual.*, 11, 608-616.
13. LAKANEN, E.; ERVIO, R. 1971. A comparison of eight extractants for the characteristics of trace elements in soils. *Acta Agric. Fenn.* 123, 223-232.
14. MORTVEDT, J. J.; GIORDANO, P. M. 1975. Response of corn to zinc and chromium in municipal wastes applied to soil. *J. Environ. Qual.*, 4, 170-174.
15. PASCAL, M. D.; FELIPO, M. T. 1984. Reutilización de lodos residuales; relación entre los niveles de Zn disponible en el suelo y el asimilado por *Hordeum vulgare*. *Actas I Congr. Nac. de la Ciencia del Suelo*, 1, 367-377.
16. PURVES, D. 1979. Trace element contamination of soil from sewage sludge applications. *Proc. Int. Congr. on Management Control of Heavy metals in the environmental.*, 485-488.
17. SILLANPAA, M. 1972. Los oligoelementos en los suelos y en la agricultura. F.A.O., 17, Roma, 71 pp.
18. SAITOH, H.; HANADA, S.; MOCHIZUKI, T. 1975. Effect of cadmium on the uptake of zinc by rice plants. *Bull. Fac. of Agric. Hirosaky Univ.* 21, 96-101.
19. SORTEMBERG, A. 1974. The effect of some heavy metals on oats in a pot experiment with three different soil types. *Jour. Sci. Agric. Soc. Finl.* 46, 3, 277-278.
20. VALDARES, J. A. M. S. et al, 1983. Some heavy metals in soils treated with sewage sludge, their effects on yield and their uptake by plants. *J. Environ. Qual.*, 12, 1, 49-57.
21. WILLIAMS, C. H.; DAVID, D. J. 1977. Some effects of the distribution cadmium and phosphate in the root zone of the cadmium content in plants. *Aus. Jour. Soil Research*, 15, 1, 59-68.

Recibido para publicación: 12-IX-85.

II. BIOLOGIA VEGETAL. — Nutrición

ESTUDIO COMPARATIVO DE METODOLOGIAS DE CONTROL NUTRICIONAL EN PLANTAS DE PIMIENTO CULTIVADAS EN INVERNADERO BAJO SISTEMA DE RIEGO LOCALIZADO*

Por

C. F. ALCARAZ, M. A. MARTINEZ-CAÑADAS, F. MARTINEZ-SANCHEZ
y F. SEVILLA

SUMMARY

COMPARATIVE STUDY ABOUT SEVERAL NUTRITIONAL CONTROL METHODS ON CAPSICUM PLANTS GROWING IN A GREENHOUSE UNDER DRIP IRRIGATION SYSTEM

It is compared the effectiveness of several methods for the nutritional control of capsicum plants growing in a greenhouse under drip irrigation system with incorporated fertilization (fertigation). The compared methods were: a) Leaf nutrient contents; b) Ionic composition of the leaf liquid extracts; c) Mineral composition of the leaf petioles; d) Ionic composition of the leaf petiole extracts.

The obtained results show that the method based on the leaf nutrient contents is the most suitable for the knowledge of the plant nutritional status, meanwhile the procedure based on the ionic equilibrium of the leaf petiole extracts is the most effective from a view of the control of the fertilizer supplies.

INTRODUCCION

No existe un criterio unificado sobre las metodologías más efectivas en la problemática del control del suministro y utilización de los fertilizantes. Posiblemente, esta falta de concordancia sea debida, en gran parte, a las peculiaridades de cada cultivo, ya que tales discrepancias no son tan evidentes cuando se trata de un cultivo determinado. Así, en frutales y agrios la preponderancia del análisis foliar es evidente (CARPENA *et al.*, 1968, 1968a, 1972; CARPENA y CARPENA-RUIZ, 1982), tanto en su aspecto nutriente de bioelementos totales, como en lo concerniente al diagnóstico bioquímico para los casos de deficiencias oligominerales (CARPENA *et al.*, 1976 y 1977; LLORENTE *et al.*, 1977; LEON *et al.*, 1978; TORRECILLAS *et al.*, 1984).

En los viñedos se ha generalizado, igualmente, el análisis foliar (DELLAS, 1979; LEVY *et al.*, 1972; FRÉGONI y SCIENZA, 1976), aunque generalmente acompañado por la composición mineral de los peciolo foliares (LOUE, 1976, 1981, 1984) ya que, en opinión de ETOUR-

* Trabajo realizado dentro del Proyecto de Investigación "MEJORA DE LA PRODUCCION DE MELON, PIMIENTO Y TOMATE", en el Programa "FACTORES DE PRODUCCION DE LOS CULTIVOS BAJO CUBIERTA", subvencionados por la Comisión Asesora de Investigación Científica y Técnica (CAICYT) y por el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC).

NEAUD y LOUE (1984), mientras para los cationes, en especial potasio, el análisis de este último tejido es más indicativo, para otros elementos (nitrógeno y fósforo) ambas metodologías son igualmente sensibles.

En plantas hortícolas, dada la escasez de problemas debidos a micronutrientes, el control bioquímico es de limitada aplicación, mientras que surgen otras metodologías cuya eficacia aparece como más atractiva para el control nutricional. En este sentido se presenta la técnica del análisis de los extractos de tejidos conductores, en especial peciolo foliario (ROUTCHENKO, 1967; ROUTCHENKO y LUBET, 1968; ROUTCHENKO y AGUILAR, 1969; CLAIRON y ROUTCHENKO, 1969). Estas ideas son adaptadas en España (HERNANDO *et al.*, 1967; CADAHIA *et al.*, 1968) y se estudian comparativamente frente al análisis foliar, discutiendo ciertas ventajas de rapidez y reproducibilidad (HERNANDO y CADAHIA, 1973). Por ello, además de los trabajos citados, TENDILLE *et al.* (1972) en maíz, FROST *et al.* (1978) en judía, ALCARAZ *et al.* (1980) y GIMENEZ *et al.* (1980) sobre pimiento, ADAMS (1982) en calabaza, PRASAD y SPIERS (1982) en ornamentales, LECKSTEIN y LLEWELLYN (1975), ARMSTRONG y KIRBY (1979) y MARTINEZ *et al.* (1984) en tomate, asumen, aunque con diferentes orientaciones, esta sistemática de control nutricional.

En el mismo sentido se pronuncian BELEM *et al.* (1984) al estudiar *Hibiscum cannabinus*, mientras que CLEMENT (1984), sobre leñosas, propone, como más adecuado, el estudio del balance iónico del líquido extraído de la hoja.

Por todo lo expuesto, es evidente la conveniencia de realizar un estudio sobre la eficacia de las diferentes metodologías de control, aplicadas al caso particular del cultivo de pimiento en invernadero, con la finalidad de seleccionar la más adecuada, tanto para el control del suministro de fertilizantes, como para el establecimiento de los balances de nutrición. Esta es la finalidad del presente trabajo, en el que se comparan las siguientes metodologías: a) Bioelementos totales en la hoja, bajo las formas de expresión porcentual sobre materia seca, contenido en la unidad de superficie y contenido en el total del limbo foliar; b) Composición iónica del líquido extraído de la hoja; c) Bioelementos totales en peciolo foliario; d) Composición iónica de extractos de peciolo foliario.

MATERIAL Y METODOS

Condiciones experimentales

Las experiencias se desarrollan sobre plantas de pimiento Lamuyo-F1-(TMV), cultivadas en invernadero bajo sistema de riego localizado confertilización incorporada (fertigación). El riego se realizó diariamente, con dosis medias que oscilan entre 1/4 y 1/2 litro/planta/día en la época comprendida entre el trasplante y la floración, incrementándose paulatinamente desde el cuaje hasta los periodos de máximo desarrollo

de los frutos, cuando se llega a suministrar 3 litros/planta/día. La disolución madre para la fertilización se preparaba periódicamente, a partir de un complejo 18:6:18 (N:P:K), al que se adicionaban cantidades oportunas de nutrientes, a fin de proporcionar las dosis fertilizantes que se exponen en la Tabla I.

Muestreos y tratamientos de la muestras

A partir de los 45 días desde el transplante, con periodicidad semanal, se toman muestras de hojas con sus peciolo, del tercio medio de la planta, según las condiciones expuestas por MARTINEZ-CAÑADAS *et al.* (1985). Las muestras una vez en el laboratorio, se someten a sucesivos lavados con agua corriente, con una disolución de detergente no iónico al 0,05% y dos veces con agua desionizada. Entonces se separan el peciolo y nervio central del limbo foliar. La mitad de cada una de las muestras (peciolo y hojas) se seca en estufa de aire forzado, a 45° C, se pulveriza y se almacena en bolsas de plástico termoselladas, a 4° C, hasta los tratamientos de mineralización. La otra mitad, en fresco, se somete a presión mecánica para la extracción del líquido correspondiente, según la técnica propuesta por HERNANDO y CADAHIA (1973), y se almacena a -20° C hasta su análisis.

Determinaciones analíticas

a) *Bioelementos totales en materia vegetal seca.*—Nitrógeno se determina mediante digestión Kjeldahl a escala semimicro, destilación automática y valoración potenciométrica del ión amonio formado. Fósforo por medida espectrofotométrica del complejo fosfomolibdovanadato amónico, sobre un alícuoto de la disolución de las cenizas procedentes de la mineralización seca en estufa de mufla. Potasio por espectrofotometría de absorción atómica de una dilución conveniente del mencionado extracto de cenizas.

b) *Determinaciones iónicas en los extractos líquidos.*—Nitrato se analiza según la técnica propuesta por ALCARAZ *et al.* (1982). Fosfato según la técnica propuesta por HELLIN (1977), para extractos líquidos coloreados. Potasio por espectrofotometría de absorción atómica de una dilución conveniente del extracto líquido.

Determinación de la superficie foliar

Para la expresión de los contenidos minerales foliares en $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ y en mg/hoja , se determina la superficie foliar, en función de sus diámetros longitudinal y transversal, según proponen MARTINEZ-CAÑADAS *et al.* (1985a), mediante la fórmula:

$$S = 0,628 \phi_L \phi_T + 8,22.$$

TABLA I

Dosis globales de fertilizantes durante el cultivo. (Las dosis fertilizantes que se indican comienzan a suministrar 1-2 días antes de la fecha de muestreo que se señala).

Fecha de muestreo	Días desde transplante	Dosis fertilizantes, (U. F.)			Fecha de muestreo	Días desde transplante	Dosis fertilizantes, (U. F.)			Fecha de muestreo	Días desde transplante	Dosis fertilizantes, (U. F.)		
		N	P	K			N	P	K			N	P	K
22-I	45	60	40	60	14-III	96	20	20	40	25-IV	138	60	20	60
5-II	59	60	40	60	21-III	103	20	20	40	2-V	145	60	20	60
12-II	66	20	20	40	28-III	110	20	20	20	9-V	152	60	20	60
19-II	73	60	40	60	4-IV	117	20	20	20	17-V	160	60	20	60
27-II	81	60	40	60	11-IV	124	20	20	20					
7-III	89	60	40	60	18-IV	131	40	20	40					

RESULTADOS Y DISCUSION

Este estudio comparativo de las distintas metodologías de control nutricional se ha basado en la respuesta de los análisis a variaciones importantes en las dosis de fertilizantes aportadas. Dado que las variaciones introducidas se han referido a N, P y K, las determinaciones en los tejidos vegetales o en sus extractos se han centrado en dichos elementos, bien en forma iónica o como contenido global.

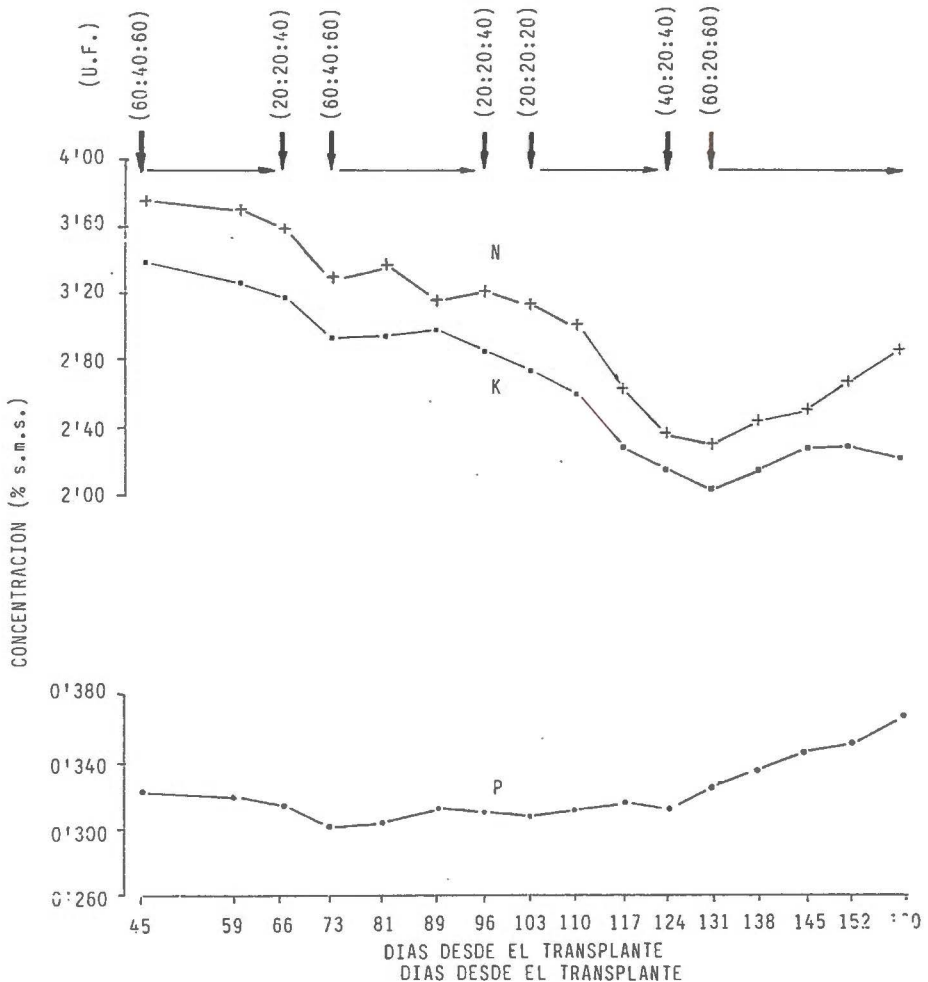


Figura 1.—Evolución de las concentraciones de Nitrógeno, Fósforo y Potasio en hojas del tercio medio de plantas de pimienta Lamuyo sometidas a variaciones en los niveles de fertilización NPK

Influencia de las variaciones en las dosis de fertilizantes sobre la composición de bioelementos en la hoja

Las evoluciones de las concentraciones foliares de N, P y K, expresadas como porcentajes sobre materia seca, se exponen en la Figura 1. Puede advertirse que las disminuciones en el suministro de fósforo no ejercen ningún efecto sobre su contenido foliar y el elemento presenta una evolución de tendencia ascendente a lo largo del ciclo de muestreo efectuado. Puede deducirse que los aportes fosforados en la preparación del terreno (1.600 kg/ha a base de superfosfato) son suficientes para el desarrollo de la planta y que los suministros posteriores no inciden sobre su nivel foliar.

Caso diferente es el presentado por N y K, que evidencian una disminución de la concentración foliar conforme avanza el periodo vegetativo, favorecido además por la disminución en la intensidad del suministro de fertilizantes, de tal modo que, en el periodo cercano a los 131 días desde el transplante, los niveles se acercan peligrosamente a posibles valores de deficiencia de ambos nutrientes. Por ello, a partir de los 124 días, se recuperaron las dosis de aportes nitrogenados y potásicos, para lograr el normal desarrollo de la plantación.

Debe destacarse que la hoja refleja la insuficiencia de los aportes fertilizantes con un retraso que puede cifrarse, para el potasio en unos 15 días y de 15-21 días para nitrógeno, hecho de gran importancia, toda vez que en estos supuestos, la rapidez de la acción debe ser mayor que en plantaciones arbóreas, en donde el poder tamponador del suelo o las propias reservas del vegetal, permiten un mayor plazo para que los tratamientos sean efectivos. No obstante, es evidente que la hoja, aun con el retraso mencionado, manifiesta la alteración nutricional con un marcado descenso de las concentraciones de nitrógeno y potasio. Es decir, desde el punto de vista de diagnosticar deficiencias, el balance nutriente refleja adecuadamente el desequilibrio, pero desde un aspecto de control de suministros fertilizantes, en estos cultivos horícolas intensivos, adolece de la necesaria rapidez en la respuesta.

Bajo la expresión de los resultados de la composición mineral referida la unidad de superficie (Figura 2), desaparecen las tendencias descendentes de nitrógeno y potasio que se observaban cuando se expresaban los datos en porcentaje sobre materia seca. Este hecho se explica por la desaparición, bajo esta forma de expresión, de los efectos de dilución que acontecen con el crecimiento del órgano vegetal que se analiza, por lo que los resultados se acercan más a los efectos funcionales del elemento en el tejido de referencia.

Estudiados de esta forma los resultados, se confirman las conclusiones antes obtenidas y así, es más manifiesta la tendencia ascendente del P y su independencia de la intensidad del suministro de nutriente en la fertigación. Del mismo modo, las evoluciones de N y K se mantienen en similares niveles —con ligeras variaciones— hasta que la disminución de los aportes provoca el profundo valle que se advierte entre los 117 y 145 días, tras el cual la hoja refleja la nueva intensificación en las dosis de fertilización.

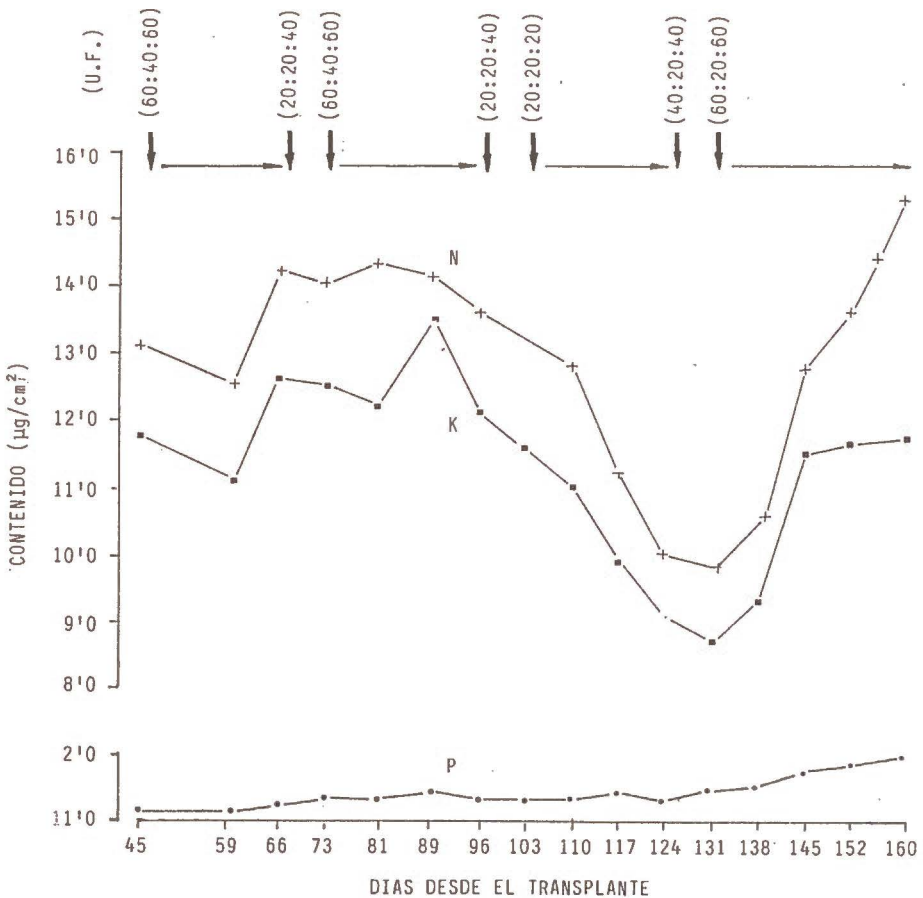


Figura 2.—Evolución de los contenidos/unidad de superficie foliar de Nitrógeno, Fósforo y Potasio en hojas del tercio medio de plantas de pimiento Lamuyo sometidas a variaciones en los niveles de fertilización NPK

Siguiendo el mismo criterio que hasta ahora, la Figura 3 presenta la evolución de los tres elementos, expuesta aquí como contenido de cada nutriente en el total de la hoja. Como se apuntaba para la consideración de los resultados relacionados con la unidad de superficie, los conceptos evolutivos de los nutrientes cambian totalmente. Así, la tendencia ascendente no es ya solamente para el fósforo, que presenta la menor intensidad para su pendiente, sino que nitrógeno y potasio, en una evolución casi superpuesta en valores absolutos, ofrecen un claro aumento de sus contenidos conforme avanza la edad y, consecuentemente, el tamaño del órgano vegetal. Este incremento se ve interrumpido durante el periodo de bajos aportes fertilizantes (110-140 días desde el trasplante), pero merece especial atención un aspecto en este proceso: El inicio de estas

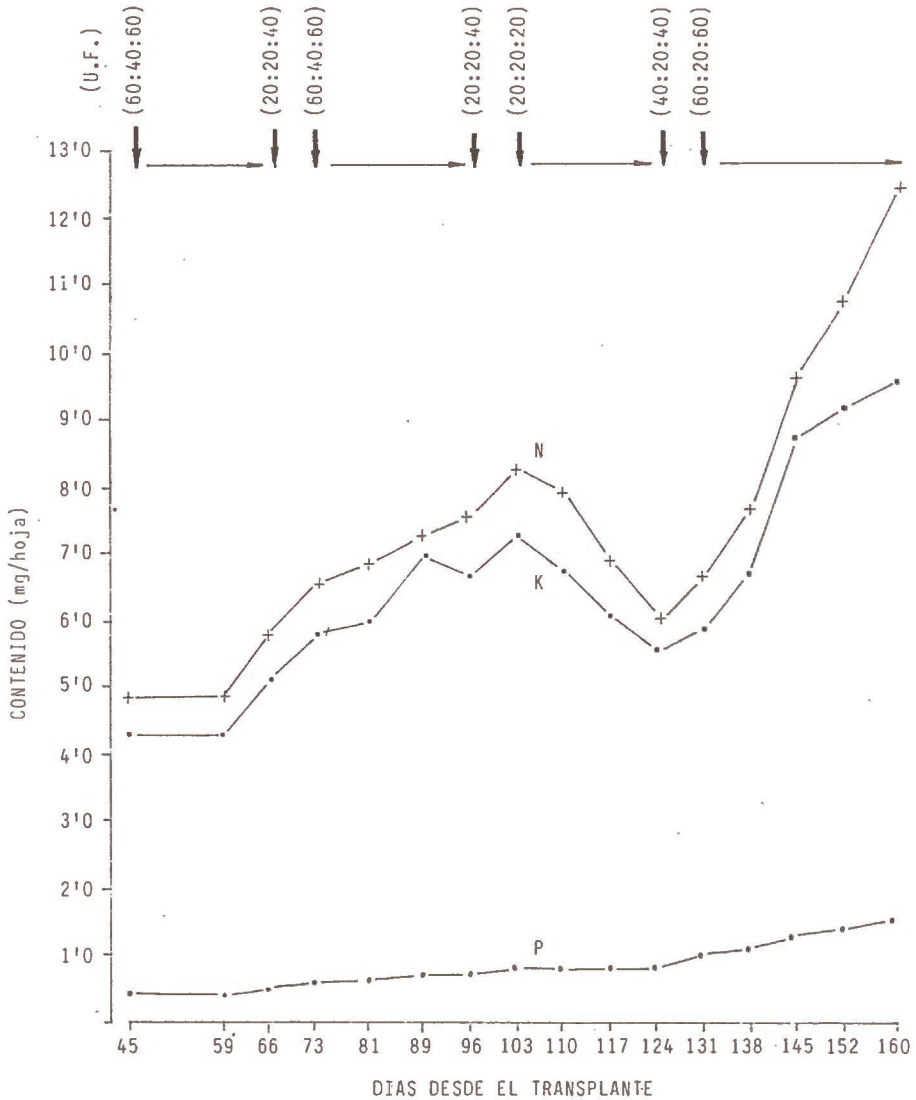


Figura 3.—Evolución de los contenidos/hoja de Nitrógeno, Fósforo y Potasio en hojas del tercio medio de plantas de pimiento Lamuyo sometidas a variaciones en los niveles de fertilización NPK

bajas dosis de suministro se sitúa en los 96 días y vuelve al nivel de 60 unidades fertilizantes (UF) a los 131 días, contados desde el transplante. Es decir, la hoja precisa de dos semanas para acusar el estado de insuficiencia fertilizante. Por ello, cuando a los 66 días se disminuye el

aporte, como se recupera a la semana siguiente, la evolución no se ve afectada por tal variación.

Como podemos comprobar, después del estudio de los resultados en sus distintas formas de expresión, el contenido total de los bioelementos sí puede relacionarse con los aportes fertilizantes, aun cuando la respuesta tarde algún tiempo en producirse. De otra parte, la expresión de los niveles referidos a la unidad de superficie foliar, o mejor aún, al total del limbo de la hoja, presentan características, en cierta medida, relacionables con la funcionalidad de los elementos en los procesos fisiológicos de las plantas, lo que concuerda con conclusiones expuestas por GUARDIOLA *et al.* (1973) y GUARDIOLA (1977), que ya advierte mejor respuesta a la fertilización, en agrios, cuando expresa los resultados en contenido de nutrientes en el total de la hoja.

Influencia de las variaciones en las dosis de fertilizantes sobre la composición iónica de extractos de limbos foliares

El trabajo de CLEMENT (1984), que propone el balance iónico en extractos de limbos foliares como óptimo para el control nutricional de leñosas, motiva su comprobación en estas plantas hortícolas, a pesar de que estudios anteriores sobre pimiento (ALCARAZ *et al.*, 1980) no ofrecieron ventajas frente a otras metodologías. La Figura 4 presenta los datos obtenidos para los iones nitrato, bifosfato y potasio en extractos de limbo foliar, en la experiencia realizada a dosis variables de fertilizantes NPK.

La actividad metabólica de la hoja hace que el nivel de nitrato en estos extractos crudos sea bastante bajo. Es evidente que el resto del nitrógeno metabolizado en las células, se encuentra en forma de compuestos orgánicos, no determinables bajo forma iónica. De acuerdo con MARTIN (1974), SHAKED *et al.* (1974) y ALCARAZ *et al.* (1979), los niveles de nitrato foliar varían escasamente, regulados por la actividad nitrato reductasa, de tal modo que solamente cuando esta actividad disminuye, por cualquier causa, el anión se acumula en el limbo.

En estas plantas, las oscilaciones de nitrato son poco intensas y la evolución de sus niveles se aprecia claramente que son independientes de las intensidades del suministro del nutriente en la fertigación, a igual manera que los de fosfato en relación a su fertilizante. Únicamente los niveles del catión potasio parecen correlacionarse algo con las variaciones en las dosis de abonado, pero, de todos modos, existen varios momentos del ciclo con variaciones difícilmente explicables por este motivo. En conjunto, esta sistemática no presenta características adecuadas a los fines de control nutricional en estas plantaciones hortícolas sometidas a cultivo intensivo.

Influencia de las variaciones en las dosis fertilizantes sobre la composición mineral de los peciolo foliares

El estudio de la efectividad de esta metodología sobre el control nutricional de plantas de pimiento, cultivadas en invernadero bajo sistema

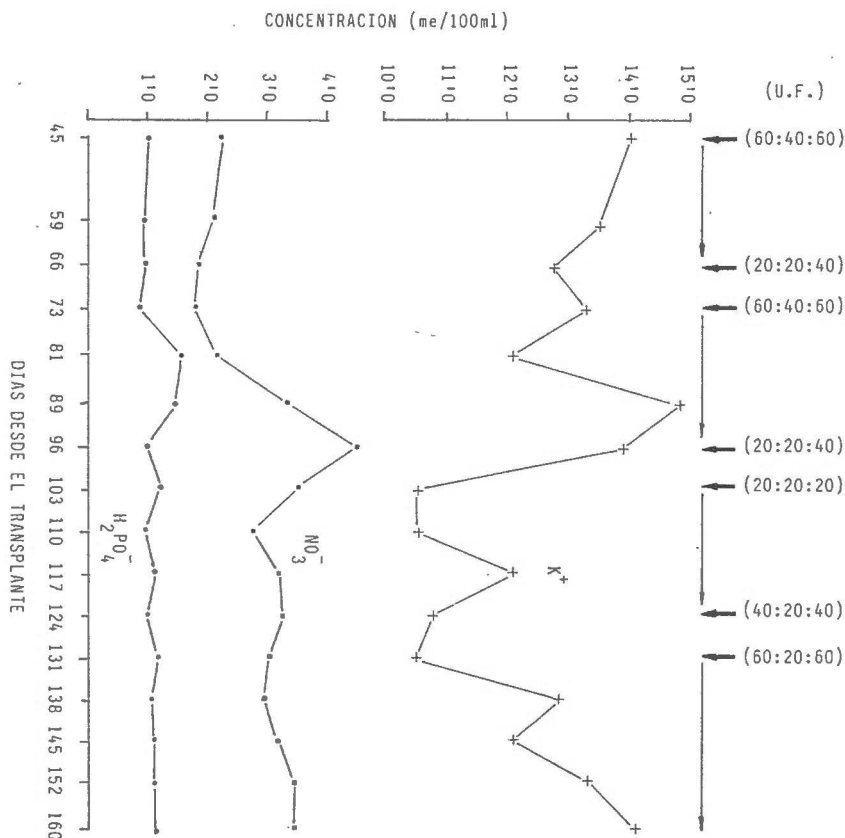


Figura 4.—Evolución de las concentraciones de Nitrato, Fosfato y Potasio en extractos de limbos de hojas del tercio medio de plantas de pimiento Lamuyo sometidas a variaciones en los niveles de fertilización NPK

de fertigación, se expone siguiendo la misma sistemática que para los demás métodos. Son evidentes unos niveles muy regulados para los tres elementos y con pocas variaciones a lo largo del ciclo, menores en el fósforo y mayores para nitrógeno (Figura 5). Esta baja variabilidad de las concentraciones de los nutrientes en el peciolo foliar se advierte claramente en sus evoluciones. Como acontecía en las metodologías antes estudiadas, el fósforo no ofrece ninguna respuesta a las variaciones en el suministro de fertilizantes. En el caso del nitrógeno sólo se aprecia influencia cuando las dosis se aportan a su nivel más bajo durante un periodo prolongado, experimentando luego, aunque lentamente, una recuperación de concentración al incrementar el aporte del bioelemento. La respuesta es más clara en el caso del potasio, que acusa las variaciones incluso con la disminución momentánea (66 días) del aporte fertilizante. No obstante, los descensos de concentración peciolar del ca-

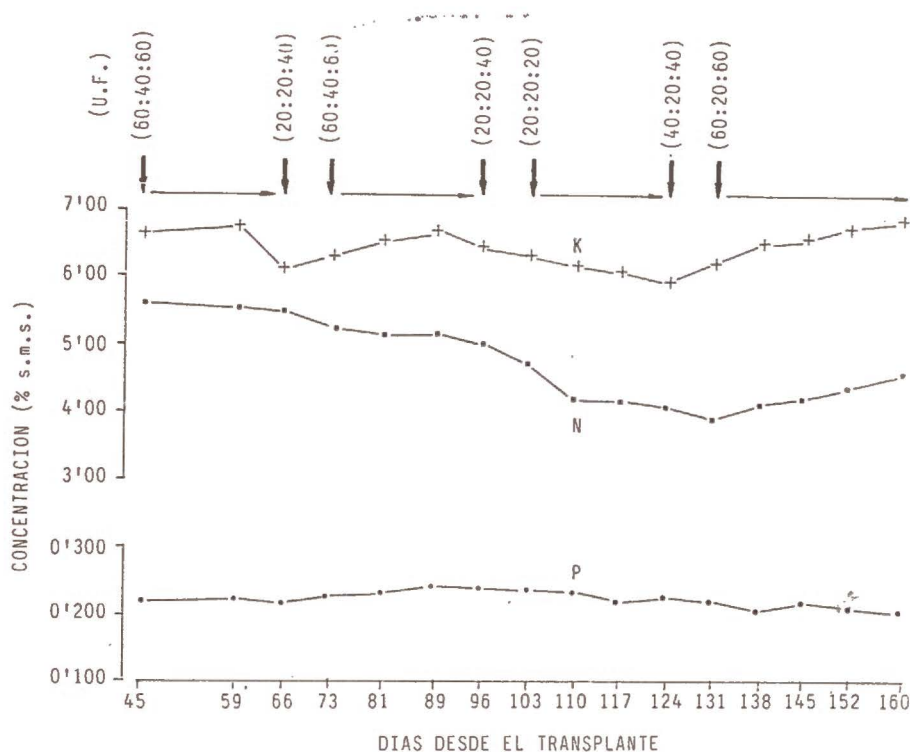


Figura 5.—Evolución de las concentraciones de Nitrógeno, Fósforo y Potasio en peciolo de hojas del tercio medio de plantas de pimiento La muyto sometidas a variaciones en los niveles de fertilización NPK

tión no están proporcionados con la intensidad de las modificaciones en los aportes fertilizantes.

En resumen, aun cuando esta metodología de control nutricional presenta aspectos de interés, no parece ofrecer claras ventajas sobre las basadas en la composición mineral de la hoja, que aconseje su utilización preferente frente a ellas en estas plantas.

Influencia de las variaciones en las dosis fertilizantes sobre la composición iónica de extractos de peciolo foliares

Finaliza este estudio comparativo sobre metodologías de control nutricional en plantas de pimiento dulce, cultivadas en invernadero bajo sistema de fertigración, analizando los resultados obtenidos para el método basado en la composición iónica de extractos de peciolo foliares y su respuesta a las modificaciones en el suministro de los fertilizantes. Los datos correspondientes se exponen en la Figura 6.

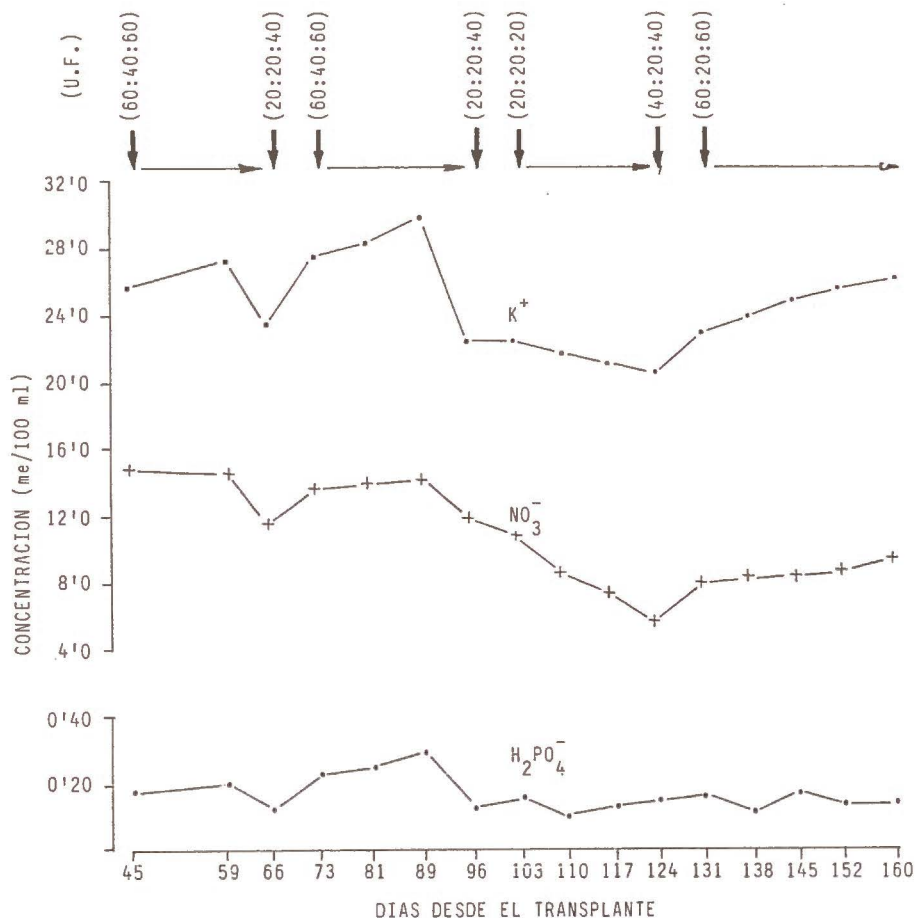


Figura 6.—Evolución de los niveles de Nitrato, Fosfato y Potasio en extractos de peciolo de hojas del tercio medio de plantas de pimiento Lamuyo sometidas a variaciones en los niveles de fertilización NPK

Al observar el comportamiento del anión fosfato, a pesar de su escasa concentración relativa frente a los otros iones, se aprecian fluctuaciones que pueden relacionarse, durante la primera parte del ciclo, con las modificaciones introducidas en el aporte fertilizante. A partir de los 96 días, finalizado el periodo de fructificación, los valores se mantienen constantes y ya no se ven afectados por los suministros del nutriente. Esta situación está en concordancia con las indicaciones de ALCARAZ *et al.* (1980a), quienes recomendaban la disminución o supresión de aportes fosforados una vez finalizados los procesos de cuaje y primeros estadios del desarrollo del fruto, pues las propias reservas de la planta y el abonado de fondo eran suficientes para satisfacer las demandas del nutriente. Pero debemos destacar que la disminución de abonado fosfo-

rado a los 66 días desde el trasplante, momento en que la planta está inmersa de pleno en los procesos de floración y fructificación, se ve automáticamente reflejada en un descenso de su nivel en el extracto de los peciolo, circunstancia que raramente se advertía en los anteriores métodos de control estudiados.

Los efectos de las variaciones en las dosis fertilizantes son aún más evidentes sobre los niveles de nitrato y potasio. En efecto, el extracto de peciolo marca, con gran intensidad y de manera instantánea, los cambios introducidos en los suministros de ambos nutrientes y su recuperación cuando aquellos se vuelven a sus formulaciones originales. Únicamente las concentraciones de nitrato no recuperan los niveles alcanzados al inicio de las experiencias, cuando a los 131 días, se suministra igual dosis que al comienzo de los muestreos. Este hecho se debe explicar por la circunstancia de una tendencia descendente de la concentración del anión, concomitante con la observada en el nitrógeno total de los peciolo.

La paralización del crecimiento vegetativo, motivada por el prolongado periodo en que las plantas se ven sometidas a bajas dosis fertilizantes (MARTINEZ-CAÑADAS *et al.*, 1985a), conduce a valores realmente bajos de ambos iones. Sin embargo, es de destacar que, al menos en el caso del nitrato, no alcanzaron niveles alarmantes de deficiencia, lo que parece indicar que la respuesta de los extractos foliares es menos efectiva desde un aspecto de control de alteraciones nutricionales, mientras que responde óptimamente como metodología de control del suministro de fertilizantes.

RESUMEN

Se compara la efectividad de diferentes metodologías de control nutricional sobre plantas de pimiento dulce cultivadas en invernadero, bajo sistema de riego localizado con fertilización incorporada (fertigación). Los métodos comparados han sido: a) Contenido de bioelementos totales en la hoja; b) Composición iónica en extractos del limbo foliar; c) Composición mineral de peciolo foliares; d) Composición iónica de extractos de peciolo foliares.

Los resultados obtenidos muestran que el contenido de nutrientes en la hoja es el más adecuado para el conocimiento del estado nutricional de la planta, mientras que el equilibrio iónico en extractos de peciolo foliares es el más indicado, desde el punto de vista del control de suministros fertilizantes.

*Unidad Estructural de Investigación n.º 3,
"Alimentación y Desarrollo de la Planta"
del Centro de Edafología y Biología Aplicada
del Segura*

BIBLIOGRAFIA

- ADAMS, P. 1982. Assessing the potassium status of cucumber plants, *Proc. 9 th Int. Plant. Nutr. Coll.*, Edinbourg, 7-11.
- ALCARAZ, C. F.; BANET, E.; HELLIN, E.; LLORENTE, S. 1979. Nitrate nitrogen and nitrate reductase activity in Verna lemon tree leaves, *J. Plant Nutr.*, 1, 347-354.
- ALCARAZ, C. F.; MARTINEZ-CANADAS, M. A.; HELLIN, E.; TORRECILLAS, A. 1980. Leaf type selection for the petiole sap analysis in capsicum plants, *Proc. 2nd Int. Congress FESPP*, Santiago de Compostela, 171-172.
- ALCARAZ, C. F.; MARTINEZ-CANADAS, M. A.; FUENTES, J. L.; LLORENTE, S. 1980a. Influencia de la variedad en el balance iónico de savia de peciolo foliares en plantas de pimiento, *Proc. 5 th Int. Coll. Control Plant. Nutr.*, Vol. 1, Istituto Professionale di Stato per Agricoltura, Ed. Castelfranco Veneto, 223-228.
- ALCARAZ, C. F.; ROMOJARO, F.; LEON, A.; LLORENTE, S. 1982. Anionic relationships in leaf petiole sap of tomato and capsicum plants growing in a glasshouse, *J. Plant Nutr.*, 3, 173-181.
- ARMSTRONG, M. J.; KIRKBY, E. A. 1979. Estimation of potassium recirculation in tomato plants by comparison of the rates of potassium and calcium accumulation in the tops with their fluxes in the xylem stream, *Plant Physiol.*, 63, 1143-1148.
- BELEM, C.; BOULANGER, J.; BRAUD, M.; GRAMAIN, E.; LAINE, G. 1984. Contribution a l'optimization de la fertilization de l'*Hibiscum cannabinus*, Bilan des exportations et mobilizations, *Proc. 6 th Int. Coll. Optimization Plant Nutr.*, Vol. 1, P. Martin-Prevel, Ed. AIONP/GERDAT, Montpellier, 45-52.
- CADAHIA, C.; ROUTCHENKO, W.; HERNANDO, V. 1968. Nuevo procedimiento para el estudio y transformación del nitrógeno y fósforo en plantas, *Anal. Edaf. Agrob.*, 27, 113-126.
- CARPENA, C. F.; ALCARAZ, C. F.; LEON, A. 1968. Balance nutriente del limonero Verna, *Proc. 2 nd Coll. Eur. Medit. Control Plant Nutr.* CEBAC, Ed. Sevilla, 423-433.
- CARPENA, O.; EGEA, L.; ALCARAZ, C. F. 1968a. Relaciones nutritivas en albaricoquero, *Proc. 2 nd Coll. Eur. Medit. Control Plant Nutr.* CEBAC, Ed. Sevilla, 665-674.
- CARPENA, O.; ALCARAZ, C. F.; LEON, A.; LLORENTE, S. 1972. Balance de bioelementos en variedades cítricas, *Rev. Agroquím. Tecnol. Alimen.*, 12, 435-445.
- CARPENA, O.; LLORENTE, S.; LEON, A.; TORRECILLAS, A. 1976. Parámetros de actividad funcional en el diagnóstico de la deficiencia de hierro y manganeso, *Anal. Edaf. Agrob.*, 35, 319-332.
- CARPENA, O.; LLORENTE, S.; LEON, A.; TORRECILLAS, A. 1977. Estudio de actividades enzimáticas en las deficiencias inducidas de hierro y manganeso del limonero, *Agrochimica*, 21, 443-450.
- CARPENA, O.; CARPENA-RUIZ, R. O. 1982. Balance nutriente evolutivo: Aplicaciones, *Anal. Edaf. Agrob.*, 41, 1355-1371.
- CLAIRON, M.; ROUTCHENKO, W. 1969. Contrôle de la nutrition minérale des plantes par l'analyse des extraits de tissus conducteurs. Application à la luzerne, *Ann. Agr.*, 20, 201-217.
- CLEMENT, A. 1984. Equilibre des ions minéraux et organiques dans les tissus foliaires des végétaux ligneux. Observation de deux espèces résineuses: L'épicéa (*Picea abies*, L. Karsten) et le Pin Noir d'Autriche (*Pinus nigra*, Arn. ssp. *nigricans*), *Proc. 6 th Int. Coll. Optimization Plant Nutr.*, Vol. 1, P. Martin-Prevel, Ed. AIONP/GERDAT, Montpellier, 149-155.
- DELAS, J. 1979. Place de l'analyse dans l'élaboration du conseil de fumure en viticulture, *Coll. Diagnostic Foliaire*. INRA, Champenoux, 197-116.
- ETOURNEAUD, F.; LOUE, A. 1984. Le diagnostic pétiolaires de la vigne en relation avec l'interprétation de l'analyse de sol pour le potassium et le magnésium, *Proc. 6 th Int. Coll. Optimization Plant Nutr.*, Vol. 1, P. Martin-Prevel, Ed. AIONP/GERDAT, Montpellier, 189-198.
- FREGONI, M.; SCIENZA, A. 1976. Recherches sur les facteurs génétiques biologiques qui influencent la nutrition minérale de la vigne, *Proc. 4 th Int. Coll. Plant Nutr.*, Vol. 1, Rijksuniversiteit, Ed. Gent, 327-341.

- FROST, W. E.; BLEVINS, D. G.; BARNETT, N. M. 1978, Cation pretreatment effects on nitrate uptake, xylem exudate and malate levels in wheat seedlings, *Plant Physiol.*, 61, 323-326.
- GIMENEZ, J. L.; BANET, E.; ROMOJARO, F.; ALCARAZ, C. F. 1980, Influencia de factores edafo-climáticos sobre la calidad del pimiento (*Capsicum annum*, L.) *Proc. 5 th Int. Coll. Control Plant Nutr.*, Vol. 1, Istituto Professionale di Stato per l'Agricoltura, Ed. Castel-franco Veneto, 264-272.
- GUARDIOLA, J. L.; VIVAS, S.; GONZALEZ-SICILIA, E. 1973, The effectiveness of leaf nitrogen content as an index to nitrogen nutrition, *Proc. 1 st Int. Citrus Congress. Vol. 1*, O. Carpena, Ed. CEBAS, Murcia, 151-157.
- GUARDIOLA, J. L. 1977, Varietal response to nutrition, *Proc. 2nd Int. Citrus Congress, Vol. 1*, W. Grierson, Ed. Lake Alfred, Florida, 26-30.
- HELLIN, E. 1977, Determinación de fosfato inorgánico en extractos coloreados de hojas de citrus, *Anal. Edaf. Agrob.*, 36, 487-499.
- HERNANDO, V.; JIMENO, L.; CADAHIA, C. 1967, Influencia del sodio sobre la nutrición nitrogenada del tomate, *Anal. Edaf. Agrob.*, 26, 1147-1159.
- HERNANDO, V.; CADAHIA, C. 1973, El análisis de savia como índice de fertilización, CSIC, Ed. Madrid.
- LECKSTEIN, P. M.; LLEWELLYN, M. 1975, Quantitative analysis of seasonal variation in the amino-acids in phloem sap of *salix alba*, L. *Planta*, 124, 89-91.
- LEON, A.; TORRECILLAS, A.; LLORENTE, S. 1978, Contribución al estudio de la deficiencia de hierro en naranjo amargo cultivado en disolución nutritiva, *Agrochimica*, 22, 9-17.
- LEVY, J. F.; CHALER, G.; CAMHAJI, E.; HEGO, C. 1972, Nouvelle étude statistique des relations entre la composition minérale des feuilles et les conditions d'alimentation de la vigne, *Proc. 3 rd Int. Coll. Control Plant Nutr.*, Budapest, 741-751.
- LOUE, A. 1976, Etude des liaisons entre le diagnostic foliaire et l'analyse du sol dans le traitement d'une enquête sur la nutrition de la vigne, *Proc. 4 th Int. Coll. Control Plant Nutrition, Vol. 1*, Rijksuniversiteit, Ed. Gent, 255-268.
- LOUE, A. 1981, L'analyse foliaire ou pétiolaire et la nutrition minérale de la vigne, *Vititechnique, Juillet-Août*, 4-7.
- LOUE, A.; BOULAY, H. 1984, Effects des cépages et des porte-greffes sur les diagnostics de nutrition minérale chez la vigne, *Proc. 6 th Int. Coll. Optimization Plant Nutr.*, Vol. 2, P. Martin-Prevel, Ed. AIONP/GERDAT, Montpellier, 357-364.
- LLORENTE, S.; LEON, A.; TORRECILLAS, A. 1977, Diagnóstico de deficiencias minerales en citrus mediante la utilización de actividades enzimáticas, *Anal. Edaf. Agrob.*, 36, 885-895.
- MARTIN, P. 1974, Some aspects of the fate of nitrate-N in plants, In "Plant Analysis and Fertilizer Problems", Vol. 2, J. Wehrman, Ed. Published by German Soc. Plant Nutrition, 283-294.
- MARTINEZ, F.; ALCARAZ, C. F.; ROMOJARO, F.; LLORENTE, S. 1984, Leaf petiole sap ionic balance in some tomato plant varieties, *Proc. 6 th Int. Coll. Optimization Plant Nutr.*, Vol. 2, P. Martin-Prevel, Ed. AIONP/GERDAT, Montpellier, 373-380.
- MARTINEZ-CANADAS, M. A.; VERA, J.; MARTINEZ-SANCHEZ, F.; ALCARAZ, C. F. 1985, Sistemática de muestreo foliar en plantas de pimiento dulce cultivadas en invernadero bajo riego localizado. IV. Tamaño de muestra representativa de un invernadero, *Anal. Edaf. Agrob.* (En prensa).
- MARTINEZ-CANADAS, M. A.; MARTINEZ-SANCHEZ, F.; SEVILLA, F.; ALCARAZ, C. F. 1985, Desarrollo foliar en plantas de pimiento dulce cultivadas en invernadero, *Anal. Edaf. Agrob.* (En prensa).
- PRASAD, M.; SPIERS, T. N. 1982, Evaluation of a simple sap nitrate test for some ornamental crops, *Proc. 9 th Int. Plant Nutr. Coll.*, Edinbourg, 474-479.
- ROUTCHENKO, W. 1967, Appréciation des conditions de la nutrition minérale des plantes basées sur l'analyse des suc extraits des tissus conducteurs, *Ann. Agron.*, 18, 361-402.
- ROUTCHENKO, W.; LUBET, E. 1968, Quelques précisions concernant les conditions d'emploi de l'urée dans certains sols du Sud-Ouest de la France, *Ann. Agron.*, 19, 83-95.
- ROUTCHENKO, W.; AGUILAR, A. 1969, Contribution à l'étude de la nutrition minérale de la tomate en fonction de la forme ionique de son alimentation azotée, *Agrochimica*, 13, 280-291.

- SHAKED, A.; BAR-AKIVA, A.; MENDEL, K. 1974. Nitrate reductase activity as an indication of the nitrogen status and requirements of citrus trees under orchard conditions. *Proc. 1st Int. Citrus Congress, Vol. 1*, O. Carpena, Ed. CEBAS, Murcia, 165-170.
- TENDILLE, C.; GERVAIS, C.; COÏC, Y.; GABORIT, T. 1972. Influence de la nature de l'alimentation azotée minérale sur la composition en substances azotées de séves exsudées des racines de maïs et de tomate. *Agrochimica*, 16, 507-518.
- TORRECILLAS, A.; LEON, A.; DEL AMOR, F.; MARTINEZ-MOMPEAN, M. C. 1984. Determinación rápida de clorofila en discos foliares de limonero. *Fruits*, 39, 617-622.

Recibido para publicación: 23-VII-85.

INDUCCION Y CULTIVO DE CALLOS PROCEDENTES
DE EXPLANTES DE HIPOCOTILO, COTILEDON
Y RADICULA DE *ERYSIMUM SCOPARIUM*

Por

J. F. PEREZ FRANCES, F. VALDES, A. J. CARMONA y A. C. BLESA

SUMMARY

CALLUS INDUCTION AND CULTURE FROM HYPOCOTYL, COTYLEDON
AND RADICLE EXPLANTS OF *ERYSIMUM SCOPARIUM*

We have studied callus induction and culture from hypocotyl, cotyledon and radicle explants excised from *Erysimum scoparium* seedlings.

The use of Murashige and Skoog medium (1962) only with 10^{-5} M 2,4-Dichlorophenoxyacetic acid induced calli from the three kinds of primary explants. Responses were improved when hypocotyl explants were used. On the other hand, indole-3-acetic acid produced a decreased response but favoured the emerging of organized structures.

Kinetin was not necessary for callus initiation and growth. Callus induction and growth were markedly improved under lasting light that with dark conditions.

INTRODUCCION

Las técnicas de cultivo de células y tejidos vegetales *in vitro* han experimentado un gran desarrollo en los últimos años. Ello ha permitido su aplicación en investigaciones tanto básicas como aplicadas usando diversos tipos de aproximaciones experimentales (fisiológicas, bioquímicas, morfológicas, genéticas, etc.).

Hemos centrado principalmente nuestra atención en varias especies de plantas que contienen diversos metabolitos secundarios de potencial interés farmacológico o químico, intentando el establecimiento de cultivos de células y tejidos de dichas especies, capaces de producir el compuesto o compuestos deseados en cantidades, por lo menos, comparables a la planta entera.

En experiencias previas hemos logrado la iniciación y el cultivo indefinido de callos de *Erysimum scoparium* partiendo de segmentos de tallos y hojas de plantas adultas (Pérez Francés et al., 1982). *E. scoparium* es una especie endémica del Archipiélago Canario que produce diversos glucósidos cardiotónicos (González y Luque Escalona, 1975).

En el presente trabajo, se describen una serie de explantes de hipocótilo, cotiledón y radícula procedentes de plántulas de la especie mencionada. Se estudian también las respuestas de los cultivos de callos procedentes de hipocótilo al ácido 2,4-Diclorofenoxiacético (2,4-D) y al ácido indol-3-acético (AIA) en presencia y ausencia de kinetina. En posteriores trabajos se estudiarán las capacidades de producción de diversos esteroides por los cultivos sometidos a diferentes condiciones culturales.

MATERIAL Y METODO

1. Material

Esterilización y germinación de las semillas

Los explantes primarios utilizados para la iniciación de los cultivos fueron obtenidos a partir de plántulas procedentes de *E. scoparium* (Brouss. ex Willd.) Wettst., recolectadas en julio de 1981 en la zona del Portillo (Las Cañadas del Teide, Tenerife).

Antes de la germinación de las semillas se procedió a la esterilización de su superficie mediante inmersión en etanol al 70% durante 30 segundos y posterior tratamiento con hipoclorito cálcico al 3% durante 15 minutos. A continuación, las semillas se enjuagaron varias veces con agua bidestilada estéril, dejándolas finalmente en imbibición durante 36 horas en oscuridad a $25 \pm 1^{\circ}$ C. Al cabo de este tiempo, las semillas fueron colocadas en placas de petri conteniendo papel de filtro humedecido a la misma temperatura que durante el tratamiento de imbibición y también en oscuridad. A los dos días tuvo lugar la germinación de las semillas en un porcentaje del 70%.

Selección de las plántulas y obtención de explantes primarios

Las plántulas se dejaron crecer en oscuridad a $25 \pm 1^{\circ}$ C. Czosnowski y Domka (1981), has establecido una relación directa entre la edad del explante y la iniciación del callo, obteniendo los mejores resultados con un material de 6 a 9 días de edad. Por ello, plántulas de *E. scoparium* de 8 días de edad y de aproximadamente 25 mm de altura, fueron utilizadas en el presente trabajo.

Se procedió entonces a aislar los cotiledones, hipocótilos y radículas de las plántulas seleccionadas. Para ello se siguió el siguiente procedimiento: se cortó el hipocótilo de tal forma que tanto los cotiledones como la radícula permanecieran unidos a un trozo de hipocótilo. Se operó de modo similar con la radícula, seccionándole un trozo ligado al resto de hipocótilo. Con ello conseguimos aislar el tejido de la radícula totalmente. Los cotiledones fueron aislados de igual forma. De este modo, nos aseguramos de que cada parte de la plántula seleccionada no poseía restos de estructuras de las otras partes. Todas estas manipulaciones se realizaron bajo condiciones asépticas en una cámara de flujo laminar.

2. Métodos

Siembra de explantes y condiciones de cultivo

Los diferentes explantes primarios procedentes de cotiledón, hipocótilo y radícula fueron sembrados en posición horizontal sobre la superficie del medio de cultivo.

Los cultivos fueron entonces colocados en cámaras a 25° C de temperatura y 50% de humedad. Para ciertas experiencias, los cultivos fueron expuestos a luz continua procedente de tubos fluorescentes PLANT GROW, 40 W y que suministraban por término medio unos 3500 lux de intensidad.

Medios de cultivo

Se empleó como medio basal, el de Murashige y Skoog (1962). Este medio ha sido adecuado para el cultivo de diversas especies de la familia Brassicaceae a la que pertenece *E. scoparium* (Bajaj y Bopp, 1972; Khanna y Staba, 1970; Sacristan, 1981). Como fuente de carbono se utilizó sacarosa al 3% y como agente solidificante, agar al 0,8%. Todos los medios fueron suplementados con diferentes concentraciones de los siguientes reguladores de crecimiento: ácido 2,4-Diclorofenoxiacético (2,4-D), ácido indol-3-acético (AIA) y kinetina a las concentraciones indicadas en el apartado de resultados.

RESULTADOS Y DISCUSION

1. Inducción de callos a partir de explantes de hipocótilo, cotiledón y radícula en medios conteniendo 2,4-D

La presencia en el medio de cultivo de la auxina sintética 2,4-D a la concentración de 10^{-5} M, sola o combinada con kinetina (10^{-7} M), promovió la formación de callos a partir de los diferentes tipos de explantes (Tabla I).

Las mejores respuestas en cuanto a la formación de callos se refiere, se obtuvieron con los explantes de hipocótilo (Figuras 1, 2 y 3). Estos resultados están de acuerdo con los obtenidos por Jha et al., (1983) y Liu et al., (1983). Por otro lado, no se observaron grandes diferencias en la formación de callos a partir de explantes cultivados en presencia de 2,4-D y en aquellos cultivados en un medio con 2,4-D y kinetina, si bien los callos formados en este último medio presentaron un aspecto más homogéneo con una coloración verde claro, mientras que los cultivos inducidos en el medio conteniendo sólo auxina, eran más heterogéneos en su coloración, mostrando zonas de color crema.

La citoquinina kinetina no resultó imprescindible para la inducción de callos a partir de los diferentes explantes estudiados.

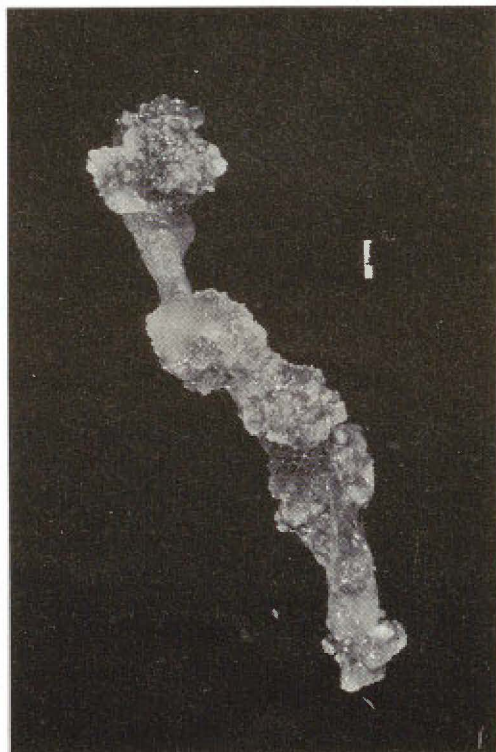


Figura 1.—Inducción de callos a partir de explantes de hipocótilo de *E. scoparium* creciendo en un medio de Murashige y Skoog (1962) con 2,4-D 10^{-5} M. Aspecto de un explante a los 39 días de cultivo. (La barra equivale a 1 mm)

2. Inducción de callos a partir de explantes de hipocótilo, cotiledón y radícula en medios conteniendo AIA

A diferencia con los resultados obtenidos con 2,4-D, el uso de AIA, solo o combinado con kinetina provocó una escasa respuesta de los explantes, sin embargo, estos medios tendieron a favorecer en cierta medida la aparición de estructuras diferenciadas (Tabla I).

3. Efectos del 2,4-D sobre cultivos de callos procedentes de hipocótilo

Las Figuras 4 y 5 muestran respectivamente los resultados de peso fresco y seco de los callos creciendo en medios de cultivo suplementados con un amplio rango de concentraciones de 2,4-D. En relación con el análisis de peso fresco (Figura 4) la concentración óptima de hormona fue 5×10^{-7} M. Como puede verse en la gráfica correspondiente, los resultados del análisis de peso seco fueron similares (Figura 5).

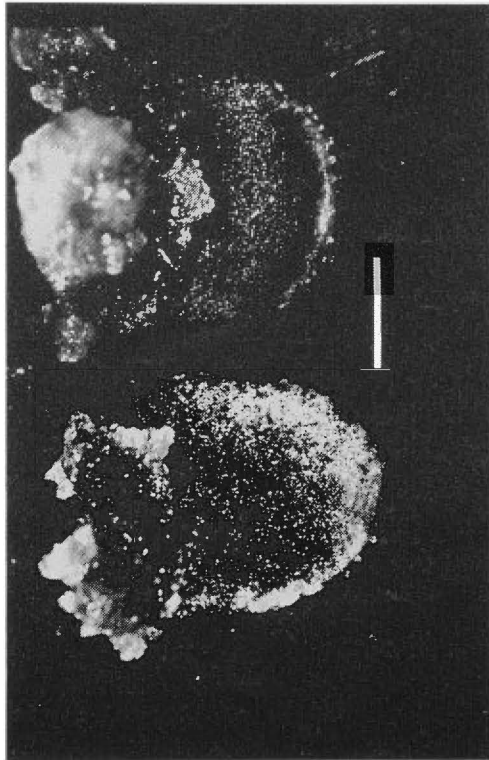


Figura 2.—Inducción de callos a partir de explantes de cotiledón de *E. scoparium*. La foto muestra el aspecto de los explantes a los 39 días de cultivo en un medio de Murashige y Skoog (1962) suplementado con 2,4-D 10^{-5} M y Kinetina 10^{-7} M. (La barra equivale a 1 mm)

La iniciación de los callos y su posterior crecimiento tuvieron lugar también en condiciones de oscuridad. Sin embargo, el incremento de peso fresco de los callos en estas condiciones llegó a ser hasta ocho veces menor que el correspondiente en la luz (Figuras 4, 5).

Creemos importante señalar que tanto en la luz continua como en la oscuridad, los cultivos de callos de *E. scoparium* mostraron crecimiento en los medios carentes de hormonas. Esto puede ser indicativo de una posible autotrofía para las auxinas por parte de los callos obtenidos. Este problema será abordado en un próximo trabajo.

El 2,4-D es considerado como un estimulador de la formación de callos en tejidos diferenciados, a la vez que es antagonista en las respuestas organogénicas. Esto lo podemos observar claramente en los resultados obtenidos en el presente trabajo.

Por otro lado, la respuesta de los cultivos de callos de *E. scoparium* a

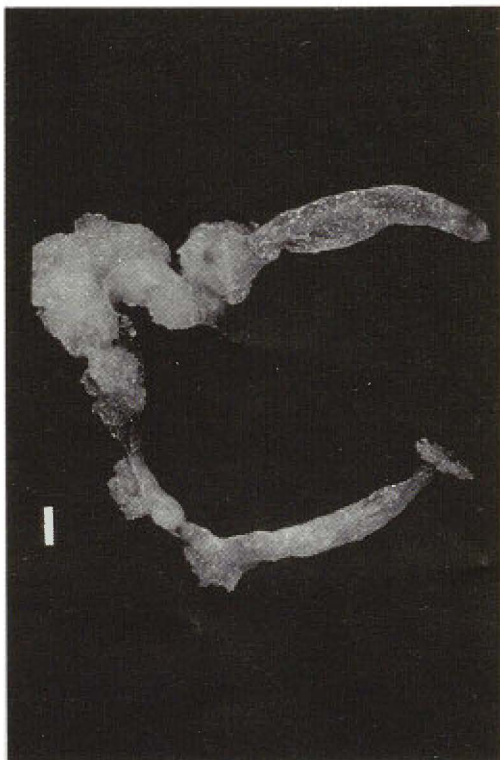


Figura 3.—Inducción de callos en un explante de radícula de *E. scoparium*. Aspecto del explante a los 39 días de cultivo en un medio de Murashige y Skoog (1962) con $2,4-D 10^{-5}$ M. (La barra equivale a 1 mm)

la luz fue sensiblemente mayor que la producida en oscuridad (Figuras 4, 5). No existen estudios muy detallados de este fenómeno. Kohno y Yoshida (1977) observaron en cultivos *in vitro* de tabaco que la luz fue mejor para el crecimiento que la oscuridad. Bergmann y Bergmann (1968) reportaron que el crecimiento de los callos de tabaco era menor en la luz y que esta debería ser esencial para la síntesis de tiamina necesaria para el crecimiento de los cultivos. No parece ser este el caso concreto de los cultivos de *E. scoparium* ya que el medio empleado contenía tiamina. Hay que tener en cuenta la posibilidad de que la luz regule el crecimiento de los callos a través de sus efectos sobre los reguladores de crecimiento del tejido. Además, la luz puede incrementar la sensibilidad de los tejidos a las hormonas y de forma inversa, la aplicación de hormonas puede mejorar la sensibilidad a la acción de la luz (De Greef y Fredericq, 1983).

TABLA I

Formación de callos a partir de diferentes explantes de Erysimum scoparium (hipocótilo, cotiledón y radícula) y formación de estructuras organizadas a partir de los callos cultivados en un medio de Murashige y Skoog (1962) con cuatro combinaciones diferentes de hormonas. Las cifras entre paréntesis representan el número de cultivos de la muestra observada

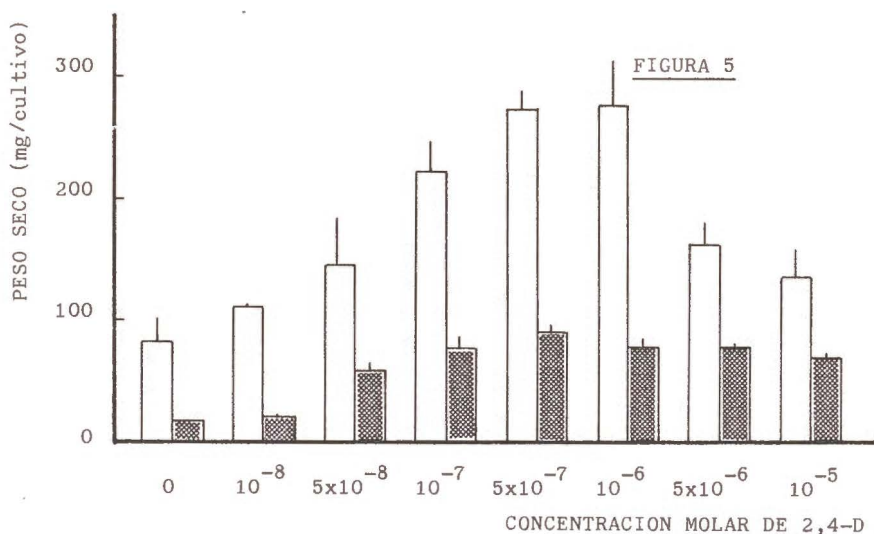
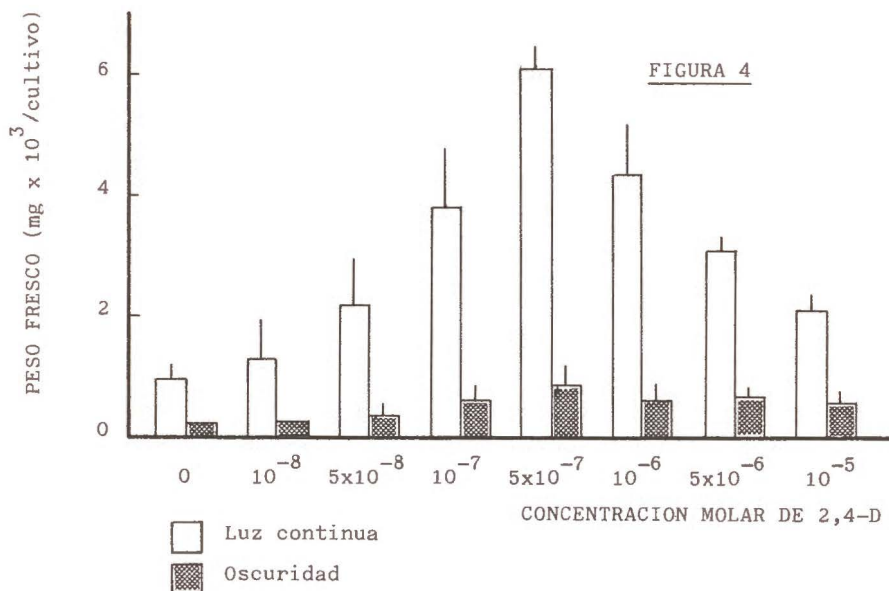
FORMACION DE CALLOS IN VITRO			
MEDIO DE CULTIVO	HIPOCOTILO	COTILEDON	RADICULA
2,4-D 10^{-5} M	12 (15)	7 (15)	8 (15)
AIA 10^{-5} M	0 (15)	0 (15)	1 (15)
2,4-D 10^{-5} M/kinetina 10^{-7} M	10 (15)	6 (15)	5 (15)
AIA 10^{-5} M/kinetina 10^{-7} M	1 (15)	1 (15)	1 (15)

FORMACION DE ESTRUCTURAS AEREAS			
MEDIO DE CULTIVO	HIPOCOTILO	COTILEDON	RADICULA
2,4-D 10^{-5} M	0 (15)	0 (15)	0 (15)
AIA 10^{-5} M	5 (15)	2 (15)	0 (15)
2,4-D 10^{-5} M/kinetina 10^{-7} M	1 (15)	0 (15)	0 (15)
AIA 10^{-5} M/kinetina 10^{-7} M	2 (15)	1 (15)	1 (15)

El cuadro descrito es complicado por el hecho de que los cultivos exhiben diferencias fisiológicas importantes dependiendo del tipo de explante del que proceden. Así, los segmentos de hipocótilo de *E. scoparium* produjeron callos con una mayor tasa de crecimiento. Incluso en experimentos con cotiledones de *Pinus canariensis* hemos podido observar que el crecimiento de callos iniciados a partir de secciones apicales del explante era menor que el de aquellos procedentes de secciones intermedias. Las mejores respuestas de crecimiento se obtuvieron con las secciones procedentes de la zona basal del cotiledón (Pérez Francés et al., 1984).

En conclusión, en un modelo ideal de los procesos de crecimiento de estos callos en la luz y en la oscuridad, todos los factores involucrados deberían ser tenidos en cuenta para explicar las respuestas observadas. Tal análisis multifactorial, y de acuerdo con De Greef y Fredericq (1983), es imposible actualmente.

Es de destacar que nuestro material no precisa de citoquininas para su crecimiento. En diversos cultivos, la presencia de estas hormonas junto con auxinas en el medio nutritivo, ha sido fundamental para su man-



Figuras 4 y 5.—Histogramas representando el peso fresco medio (Figura 4) y el peso seco medio (Figura 5), así como las correspondientes desviaciones típicas de cultivos de callos de hipocótilos de *Erysimum scoparium* creciendo en medios de Murashige y Skoog (1962) con diferentes concentraciones de 2,4-D. Los histogramas en blanco representan los resultados de los cultivos en luz continua y los sombreados, los obtenidos en oscuridad.

tenimiento. Evidentemente, nuestros callos no pertenecen a este grupo de cultivos ya que parecen sintetizar sus propias citoquininas endógenas. Algunas pruebas efectuadas por nosotros con el bioensayo de callos de soja (Miller, 1963) específico para este tipo de hormonas, así parecen confirmarlo. Se sabe además, que el 2,4-D ha sido capaz de inducir la autotrofia para citoquininas en cultivos de tabaco (Gresshoff, 1978) lo cual podría haber ocurrido también en nuestro material.

Nuestro siguiente objetivo es la inducción de fenómenos de Diferenciación y Morfogénesis a partir de los callos obtenidos para posteriormente hacer un análisis de la producción de glucósidos cardiotónicos por los distintos cultivos.

CONCLUSIONES

1. La presencia de ácido 2,4-Diclorofenoxiacético en un medio de cultivo de Murashige y Skoog (1962), a la concentración de 10^{-5} M provocó la formación de callos a partir de explantes de hipocótilos, cotiledones y radículas procedentes de plántulas de *E. scoparium*.
2. La inducción de callos fue mejor a partir de explantes de hipocótilo. El mantenimiento posterior de estos cultivos de callos fue mejor a concentraciones del orden de 5×10^{-7} a 10^{-6} M de auxina.
3. La presencia de kinetina en el medio de cultivo no fue necesaria para la inducción de callos probablemente por ser estos capaces de sintetizar sus propias citoquininas endógenas.
4. El uso de ácido indol-3-acético, solo o en combinación con kinetina, provocó escasa formación de callo en los explantes. Sin embargo, tendió a favorecer la aparición de estructuras organizadas.
5. El crecimiento de los callos en la oscuridad fue sensiblemente inferior al de la luz.
6. Tanto en presencia de luz continua como en oscuridad, los callos fueron capaces de crecer en un medio carente de hormonas.

*Departamento de Fisiología Vegetal. Facultad de Biología.
Universidad de la Laguna. Tenerife.*

RESUMEN

Se estudió la inducción de callos a partir de explantes de hipocótilo, cotiledón y radícula procedentes de plántulas de *E. scoparium* utilizando como medio de cultivo, el de Murashige y Skoog (1962). El uso de ácido 2,4-Diclorofenoxiacético 10^{-5} M en dicho medio, provocó la formación de callos a partir de los tres tipos de explantes aunque la respuesta fue mejor con los procedentes de hipocótilo. La auxina ácido-3-indolacético provocó una respuesta sensiblemente inferior pero tendió a favorecer la aparición de, estructuras organizadas. La presencia de kinetina en el medio de cultivo no fue necesaria para la iniciación y crecimiento de los callos. La iniciación y crecimiento de los cultivos fue por el contrario, mejor en condiciones de luz continua que en oscuridad.

BIBLIOGRAFIA

- BAJAJ, Y. P. S. y BOPP, M. 1972, Growth and Organ Formation in *Sinapis alba* Tissues Cultures, *Z. Pflanzenphysiol.* 66: 378-381.
- BERGMANN, L. y BERMAN, A. L. 1968, Aktivierung der Biosynthese von Tiamin in Callus-Kulturen von *Nicotina tabacum* in Licht, *Planta* 79: 84-91.
- CZOSNOWSKI, E. y DOMKA, L. 1981, Callus Formation from Organs of some Papilionaceae Plants in vitro culture, *Bull. Soc. Amis. Sci. Lett. Poznań, Ser. D.* 21: 39-45.
- De GREEF, J. A. y FREDERICQ, H. 1983, Photomorphogenesis and Hormones, En: *Photomorphogenesis, Encycl. Plant Physiol. N. S.* Eds: W. Shropshire, Jr. y H. Mohr, Springer-Verlag, Berlin, 16 A: 401-427.
- GONZALEZ, A. G. y LUQUE ESCALONA, M. 1975, Nuevos glicósidos cardíacos de *Cheiranthus scoparium* Brouss., *Ann. Quím.* 71: 97-103.
- GRESSHOFF, P. M. 1978, Phytohormones and Growth and Differentiation of Cells and Tissues Cultures in vitro, En: *Phytohormones and Related Compounds - A Comprehensive Treatise.* Eds, D. S. Letham, P. B. Goodwin y T. J. V. Higgings, Elsevier/North-Holland, II: 1-29.
- JHA, T. B., ROY, S. C. y MITRA, G. C. 1983, In vitro culture of *Cuminum cyminum* regeneration of flowering shoots from calli of hypocotyl and leaf explants, *Plant Cell Tissue Organ Culture.* 2: 11-14.
- KHANNA, P. y STABA, E. J. 1970, In vitro Physiology and Morphogenesis of *Cheiranthus cheri* var. dott of Gold and *C. cheri* var. Goliath, *Bot. Gaz.* BI: 1-5.
- KOHNO, H. y YOSHIDA, F. 1977, Culture of chlorophyllous tobacco cells not requiring any organic additives except sucrose in the medium. I, Effects of light and temperature on the growth of the cells, *Plant Cell Physiol.* 18: 907-913.
- LIU, J. R., SINK, K. C. y DENNIS, F. G. 1983, Plant Regeneration from apple seedling explants and callus cultures, *Plant Cell Tissue Organ Culture.* 2: 299-304.
- MILLER, C. O. 1963, Kinetin and Kinetin-like Compounds, En: *Modern Methods of Plant Analysis.* Eds.: M. F. Linskens y M. V. Tracey, Springer, Berlin, 6: 194-202.
- MURASHIGE, T. y SKOOG, F. 1962, A Revised Medium for rapid growth and Bioassays with tobacco tissues Cultures, *Physiol. Plant.* 15: 473-497.
- PEREZ FRANCES, J. F., IGLESIAS, E., SAMARIN, N. y BLESAS, A. C. 1982, Inducción y crecimiento de cultivos de tejidos de *Erysimum scoparium* Anal. Edaf. Agrobiol. XLI: 2303-2313.
- PEREZ FRANCES, J. F., MARTINEZ, C. y BLESAS, A. C. 1984, Efecto del ácido 2,4-Diclorofenoxiacético sobre la inducción de callos en cotiledones de *Pinus canariensis*. Anal. Edaf. Agrobiol. XLIII: 889-904.
- SACRISTAN, M. D. 1981, Regeneration of Plants from long-term Callus Cultures of Haploid *Brassica napus*. *Z. Pflanzenphysiol.* 86: 248-253.

Recibido para publicación: 21-VII-85.

**DIVERSIDAD FLORÍSTICA Y HETEROGENEIDAD AMBIENTAL
EN UNA DEHESA DE SIERRA MORENA**

Por

T. MARAÑÓN ARANA

SUMMARY

**FLORISTIC DIVERSITY AND ENVIRONMENTAL HETEROGENEITY
IN A "DEHESA" OF SIERRA MORENA**

A floristic and ecologic analysis in 0,1 Ha of the savanna-like "dehesa" has been carried out in SW Spain. The resulting high diversity: 135 spp/0.1 Ha and 31.8 spp/m², makes the "dehesa" to be one of the vegetation types with highest diversity (at 0,1 Ha scale) in the world. *Gramineae*, *Leguminosae* and *Compositae* are the dominant families, and most of the species exhibit therophyte life-form. Five habitats have been distinguished: rock outcrops, base of trunk, canopy understory, open grassland and "hozaderos" (place where hogs root). The related grassland communities are compared according to their species diversity, intra-habitat homogeneity (HI) and floristic composition. The environmental heterogeneity will contribute to generate and maintain the high species richness of the "dehesa" landscape. Several hypothesis to explain the coexistence are discussed.

INTRODUCCION

Si consideramos al paisaje vegetal como un mosaico de comunidades que refleja un medio heterogéneo en el tiempo y en el espacio, la diversidad o riqueza en especies de un área delimitada (diversidad gamma o del paisaje) comprende: la riqueza de sus comunidades componentes (diversidad alfa o intra-comunidad) y el grado en que se diferencian entre sí (diversidad beta o inter-comunidad) (cf. Whittaker, 1977).

La coexistencia de numerosas especies en una misma comunidad o tesela de paisaje, se puede explicar desde dos presupuestos distintos: a) las teorías del equilibrio, que en último término se basan en el principio de exclusión competitiva, predicen una segregación del nicho ecológico entre las especies que coexisten indefinidamente. En este sentido, Grubb (1977) define cuatro componentes del nicho relevantes para las plantas: 1) hábitat, 2) tipo biológico, 3) fenología y 4) regeneración.

b) Los teóricos del no-equilibrio, sin embargo, propugnan que en la Naturaleza nos encontramos con la acción de factores externos (perturbaciones) que interrumpen las interacciones competitivas, posibilitando

así la coexistencia de numerosas especies que de otra manera serían "incompatibles" (p. ej. Huston, 1979).

Variaciones en la micro-topografía, textura, humedad y contenido en nutrientes del suelo representan una diversidad de hábitats para las especies de plantas. La complejidad del hiper-espacio de hábitats y su "empaquetamiento" contribuyen a la riqueza biótica del paisaje (diversidad gamma), formada por la acumulación de especies que difieren en su ecotopo (incluye nicho y hábitat) (Whittaker, 1977).

Por otra parte, los factores externos invocados en las hipótesis de no-equilibrio (fuego, pastoreo, etc.), pueden ser también generadores de heterogeneidad ambiental (Ricklefs, 1977).

Para el presente estudio, se ha delimitado un área de 0,1 Ha, representativa del paisaje de dehesa, donde se ha distinguido como hábitats diferentes: afloramientos rocosos, base del tronco y sombra de la copa de las encinas (hábitats distintos a escala de la vegetación herbácea), pasto abierto, y también los hozaderos, depresiones originadas por la perturbación localizada (hozado) del ganado porcino.

Los objetivos que se persiguen son: 1) ensayar un nuevo método de análisis florístico y ecológico que nos permita obtener, para la dehesa, resultados comparables a los existentes para otros tipos de vegetación en clima mediterráneo (Naveh y Whittaker, 1979, Shmida, 1981). Estos autores propugnan que los pastos mediterráneos son unas de las comunidades más diversas (a escala 0,1 Ha) conocidas. 2) Analizar la contribución de la heterogeneidad ambiental a la diversidad florística de la dehesa. 3) Discutir la coexistencia de las distintas especies según las teorías de equilibrio y no-equilibrio anteriormente apuntadas.

MÉTODOS

Descripción del área de estudio

La parcela de 0,1 Ha se ha delimitado en la dehesa Navalagrulla, término de Castilblanco de los Arroyos, provincia de Sevilla (coordenadas UTM: 37° 40' y 2° 14').

La altitud media es 300 m, la topografía general es plana o de escasa pendiente. El sustrato geológico corresponde a rocas ácidas del tipo granítico con diques básicos (IGME 1980), los suelos han sido clasificados en la serie "Garrobo", es decir, un *ochrept* de textura arenolimoso y deficiente en calcio (INIA 1975). La precipitación* media es 754 mm, el 92,6% se recoge en el período Octubre-Mayo. La temperatura media anual es 16,5°, con valores extremos de la media mensual de mínimas en Enero (4,1°) y media mensual de máximas en Julio (34,5°).

La vegetación potencial forma parte de la serie termomediterránea mariánico-monchiquense y bética seco-subhúmeda silicícola de *Quercus rotundifolia*, según Rivas Martínez (1985). En la actualidad, se encuen-

* Los datos de precipitación corresponden a la estación meteorológica de Castilblanco de los Arroyos (1960-1985) y los de temperatura a la estación del embalse de Cala (1965-1985).

tra una formación vegetal de aspecto sabanoide, con ejemplares dispersos de encinas y una cobertura herbácea con predominio de gramíneas, leguminosas y compuestas anuales.

Estos pastos fueron aprovechados en régimen extensivo por ganado vacuno, porcino y en menor medida caprino. La finca no ha sido labrada al menos en los últimos diez años, y el manejo se ha remitido a fertilización intermitente con superfosfatos (300 Kg/Ha).

La parcela fue situada en una zona con manifiesta heterogeneidad del medio físico (afloramientos rocosos) y biótico (encinas), elementos ambos, comunes en el paisaje de dehesa. El pastoreo por el ganado vacuno significa una perturbación relativamente generalizada, de baja selectividad, aunque también genera heterogeneidad mediante el pisoteo, deyecciones, etc., pero de escala fina. El ganado porcino, sin embargo, suele producir perturbaciones localizadas importantes (hozaderos) al remover el horizonte superficial del suelo.

Inventarios florísticos

El método utilizado es una modificación del propuesto por Naveh y Whittaker (1979). Se delimita una parcela de 50 x 20 m (0,1 Ha), un recorrido de la misma permite distinguir diferentes hábitats en los que se realizan inventarios florísticos de 1 m². El número total de inventarios (entre 20 y 30) debe distribuirse proporcionalmente a la superficie ocupada por cada hábitat, dentro de la parcela. Se registra la posición de cada inventario mediante un sistema de coordenadas. Una vez terminados los inventarios, se recorre la parcela para registrar especies de plantas que no hayan aparecido en dichos inventarios de 1 m², este recorrido se debe repetir en diferentes ocasiones a lo largo del año.

En el presente estudio, en la dehesa Navalagrulla, una vez delimitada la parcela de 50 x 20 m, se distribuyeron 26 cuadros de 1 m² entre los siguientes hábitats: pasto abierto (10), sombra de la copa de la encina (6), base del tronco de la encina (4), afloramiento rocoso (4) y hozadero (2). Los inventarios florísticos (a escala de 1 m² y 0,1 Ha) se realizaron el 15 de Mayo de 1985, la lista de especies en 0,1 Ha se amplió con recorridos de la parcela a final de Mayo y a mediados de Junio.

Análisis de los datos

A partir de la lista total de especies observadas, se elaboró el espectro de tipos biológicos y la distribución por familias florísticas.

Para cada hábitat se calculó: 1) la densidad de especies, igual al número medio de especies por m², 2) la homogeneidad intra-comunidad (HI) como la similaridad media (según la fórmula de Sorensen) entre todos los pares posibles de inventarios de la misma comunidad, 3) la diversidad diferencial (DD), como la razón entre el número total de especies y el número medio por cuadro de 1 m² (cf. Whittaker, 1977).

El análisis de correspondencias de los inventarios (de 1 m²), los dispone en un espacio ecológico, definido por su composición específica,

que nos permite interpretar la estructura de las comunidades detectadas en la parcela (ver revisión en Gauch, 1982). En este espacio, se han dibujado isolíneas de riqueza en especies para resaltar los núcleos más diversos (a escala de 1 m²) dentro de la estructura de estas comunidades de pasto.

RESULTADOS Y DISCUSION

Riqueza florística: espectros de familia y tipo biológico

Se ha registrado un total de 135 especies de plantas en 0,1 Ha. Este valor, aunque inferior al de 179 especies registradas en 0,1 Ha de matorral abierto de *Pistacia lentiscus* en el Monte Gilboa de Israel (Naveh y Whittaker, 1979), es comparable a los valores máximos de diversidad, a escala de 0,1 Ha, medidos en los bosques pastados de Israel y el "fynbos" de Sudáfrica (Naveh y Whittaker, 1979).

Las familias de mayor riqueza florística son *Gramineae*, *Leguminosae* y *Compositae* (Tabla I), el resto de las 28 familias están representadas por menos del 10% de las especies. En cuanto a géneros, destaca *Trifolium* con 11 especies, mientras que todos los demás presentan 3, 2 ó 1 especie.

TABLA I

Familias florísticas principales y su importancia relativa (porcentaje de especies registradas) en distintas comunidades de pastos mediterráneos

Familia	S.O. España	California ¹	Chile ²
Gramineae	22,2	20,0	19,5
Leguminosae	17,0	16,5	9,2
Compositae	15,6	16,5	20,5
Caryophyllaceae	8,1	3,5	3,5
Cruciferae	3,0	0,0	1,1
Cistaceae	3,0	0,0	0,0
Liliaceae	3,0	2,4	0,0
Geraniaceae	2,2	5,9	3,5
Boraginaceae	0,7	2,4	4,6
Scrophulariaceae	1,5	4,7	2,3
Otras	23,7	28,1	35,6

¹ Basado en 16 transectos de 50 m (8 en Hopland y 8 en Palo Alto), según Gulmon (1977).

² Basado en 20 transectos de 50 m en Santiago de Chile, según Gulmon (1977).

Estas tres familias son también dominantes en los pastos mediterráneos de California y Chile (Tabla I). Las gramíneas, en su mayor parte anuales (73,3%), aportan el mayor número de especies en los pastos de las dehesas (Marañón, 1986). Precisamente las gramíneas anuales de origen euro-mediterráneo dominan actualmente los pastos de California y Chile, contribuyendo a la alta riqueza en especies de *Gramineae* en ambas regiones.

Las leguminosas son el segundo grupo en los pastos de dehesa, en cuanto a número de especies, casi en su totalidad (91,3%) anuales. También presentan una considerable riqueza en especies en California, con numerosas especies autóctonas de *Trifolium*. Sin embargo, en Chile, son relativamente menos importantes.

La tercera familia en riqueza de especies, *Compositae*, con especies anuales y perennes, también presenta alta diversidad en los pastos de California y Chile, con especies nativas.

El espectro de tipos biológicos está dominado por los terófitos (71,1%), como en otras comunidades de pasto o bosque abierto mediterráneo (Tabla II). Comparando con los resultados de Naveh y Whittaker (1979) para Israel (3 parcelas) y California (5 parcelas), la proporción de fanerófitos es ligeramente inferior en la dehesa estudiada (sólo dos especies de árbol: *Quercus rotundifolia* y *Pirus pyrater*), mientras que la de geófitos es superior.

Se han propuesto diversas hipótesis que explican el predominio de las plantas con ciclo anual en la vegetación mediterránea (Raven, 1973, Pignatti, 1978, Naveh y Whittaker, 1979, Marañón, 1986), de las que se pueden destacar dos principales: a) el contraste estacional con sequía veraniega, típico del clima mediterráneo, favorece la forma de vida te-

TABLA II

Espectro de tipo biológico en distintas comunidades de pastos mediterráneos con arbolado

Tipo biológico	S.O. España	Israel ¹	California ²	Normal ³
Fanerófito	1,5	5,0	2,2	23
Caméfito	3,0	4,5	1,3	29
Hemicriptófito	14,8	11,0	18,9	2
Geófito	9,6	6,0	3,8	3
Terófito	71,1	72,3	72,0	13

¹ Basado en 3 parcelas de 0,1 Ha en bosques pastados (Naveh y Whittaker, 1979).

² Basado en 5 parcelas de 0,1 Ha en bosque abierto pastado (Naveh y Whittaker, 1979).

³ Espectro "normal" basado en una muestra al azar de floras de diversas partes del mundo (Barbour y otros, 1981).

rófita, y b) el impacto de las actividades del hombre y sus animales domésticos durante un largo período de tiempo (al menos 10.000 años) ha favorecido la expansión y diversificación de las especies anuales.

Heterogeneidad ambiental y diversidad de comunidades

El análisis de los 26 inventarios de 1 m² nos muestra que el conjunto ("pool") de 115 especies se distribuye entre diferentes hábitats con una densidad media de 31,8 especies/m², pero de modo desigual (Tabla III).

1) Se observaron 51 especies creciendo entre o sobre los afloramientos rocosos, de ellas 10 están limitadas a este hábitat, entre las que cabe citar algunas de hábito rupícola como *Umbilicus rupestris*, mientras que otras, perennes leñosas, parecen encontrar protección entre las rocas, por ejemplo, *Pirus pyrastrer* o *Chamaerops humilis*. Es la comunidad menos rica en especies (21,7 spp/m²), y también la menos homogénea (HI = 0,41). Sin embargo aporta 10 especies (8,7%) restringidas a esta comunidad, a la diversidad florística de la parcela analizada.

2) De las 61 especies inventariadas alrededor de la base de los troncos de encina, 7 son exclusivas. Entre ellas merecen mención: la cespitosa perenne, *Festuca ampla*, que con frecuencia forma una orla de fino césped, y la pequeña primulácea *Asterolinon linum-stellatum*, que crece en el escaso suelo justo en la base del tronco. La densidad de especies es 27,5 spp/m², algo más diversa que la comunidad de las rocas.

3) En las muestras situadas bajo la copa de las encinas se inventariaron 70 especies, de ellas 6 exclusivas, por ejemplo: *Trifolium stellatum*, *Hordeum murinum* y las perennes *Plantago lanceolata* y *Phalaris aquatica* (aunque ésta última abunda en el pasto abierto, en otras zonas de la misma dehesa). La densidad de especies es muy alta, 34,8 spp/m², llegándose a registrar un máximo de 45 spp/m².

4) Un total de 74 especies se registraron entre las 10 muestras en el pasto abierto, 9 fueron exclusivas, como *Trifolium scabrum*, *Lotus cornimbricensis*, *Moenchia erecta* y la gramínea perenne C₄, *Cynodon dactylon*. Esta comunidad presenta la máxima densidad de especies, 37,1 spp/m² con 3 inventarios que superan las 40 especies y un máximo de 45 spp/m².

Diversos autores han registrado menor diversidad debajo de la copa de los árboles, que en el pasto abierto, para este tipo de vegetación sabanoide (González Bernáldez y otros, 1969, Vacher y otros, 1986, Marañón, 1986).

5) Sólo dos inventarios en hozaderos de ganado porcino, dieron 39 especies y una densidad media de 24,5 spp/m², 3 de ellas fueron exclusivas: *Chaetopogon fasciculatus*, *Pulicaria paludosa* y *Rumex pulcher*, favorecidas por la mayor humedad en las depresiones originadas por la remoción del suelo. Este tipo de perturbación destruye gran parte de las plantas resultando una fuerte disminución de la diversidad florística.

Se debe tener en cuenta el valor relativo del análisis de este conjunto de 115 especies de plantas distribuidas en los 26 m² muestreados. Así, cuando se menciona que ciertas especies son "exclusivas" de un hábitat,

es una afirmación relativa a esta parcela de 0,1 Ha estudiada, y debe ser contrastada con nuevos resultados.

La ordenación de los inventarios en el "espacio ecológico" de la parcela estudiada se ha representado en las Figuras 1 y 2. Los cuadros procedentes de las rocas y de la base de los troncos, aparecen como dos grupos claramente diferenciados por el primer eje del análisis de correspondencias (Figura 1), y con baja densidad de especies (menos de 30 spp/m²). El análisis parcial del resto de los inventarios separa los cuadros situados debajo de las copas, de aquellos en pasto abierto, también diferencia los dos inventarios en los hozaderos (Figura 2). En ambos análisis se observa que el núcleo de mayor densidad de especies (más de 40 spp/m²) corresponde al pasto abierto (Figuras 1 y 2):

Se puede interpretar la parcela de dehesa analizada, como formada por una cubierta de pasto, rica en especies (37,1 spp/m²) y relativamente homogénea (HI = 0,66), aunque con elementos de heterogeneidad física y biótica que originan cambios en la vegetación. La comunidad de pasto a la sombra de las encinas es menos rica en especies (34,8 spp/m²), menos homogénea (HI = 0,56) y algo diferente en composición, respecto a la de pasto abierto. Alrededor de la base del tronco, la disminución en la densidad de especies (27,5 spp/m²) y en la homogeneidad (HI = 0,49) es aún más acentuada, además la composición es bastante distinta del resto del pasto. La vegetación de los afloramientos rocosos es la menos diversa (21,7 spp/m²), menos homogénea (HI = 0,41) y la más diferente en composición específica, aunque con cierta semejanza a la comunidad de la base del tronco. En los hozaderos, la composición específica no es muy diferente del pasto, aunque faltan numerosas especies, la densidad de especies es baja (24,5 spp/m²).

Naveh y Whittaker (1979) estudiaron con preferencia vegetación leñosa (matorral y bosque) y se refieren al número total de especies encontradas en 0,1 Ha como la diversidad alfa de la comunidad. Sin embargo, en la dehesa hemos observado que en una superficie de 0,1 Ha se pueden encontrar diversas comunidades de pasto, relacionadas con la heterogeneidad ambiental a media escala y por tanto no es apropiado hablar de diversidad alfa (diversidad de una comunidad considerada homogénea) sino que es más conveniente especificar que se trata de la diversidad a escala de 0,1 Ha (ver discusión sobre tipos de vegetación y escala considerada en Rice y Westoby, 1983).

Mecanismos de coexistencia

La alta diversidad de especies de plantas observada en una superficie de 0,1 Ha incita a preguntarnos sobre los posibles mecanismos que promueven la coexistencia de este gran número de especies.

Se considera como hipótesis de trabajo que las especies coexistentes difieren en las componentes del nicho definidas por Grubb (1977):

1) Se han detectado 35 especies restringidas a uno sólo de los 5 hábitats, mientras que el restante 70% se pueden considerar "generalistas"

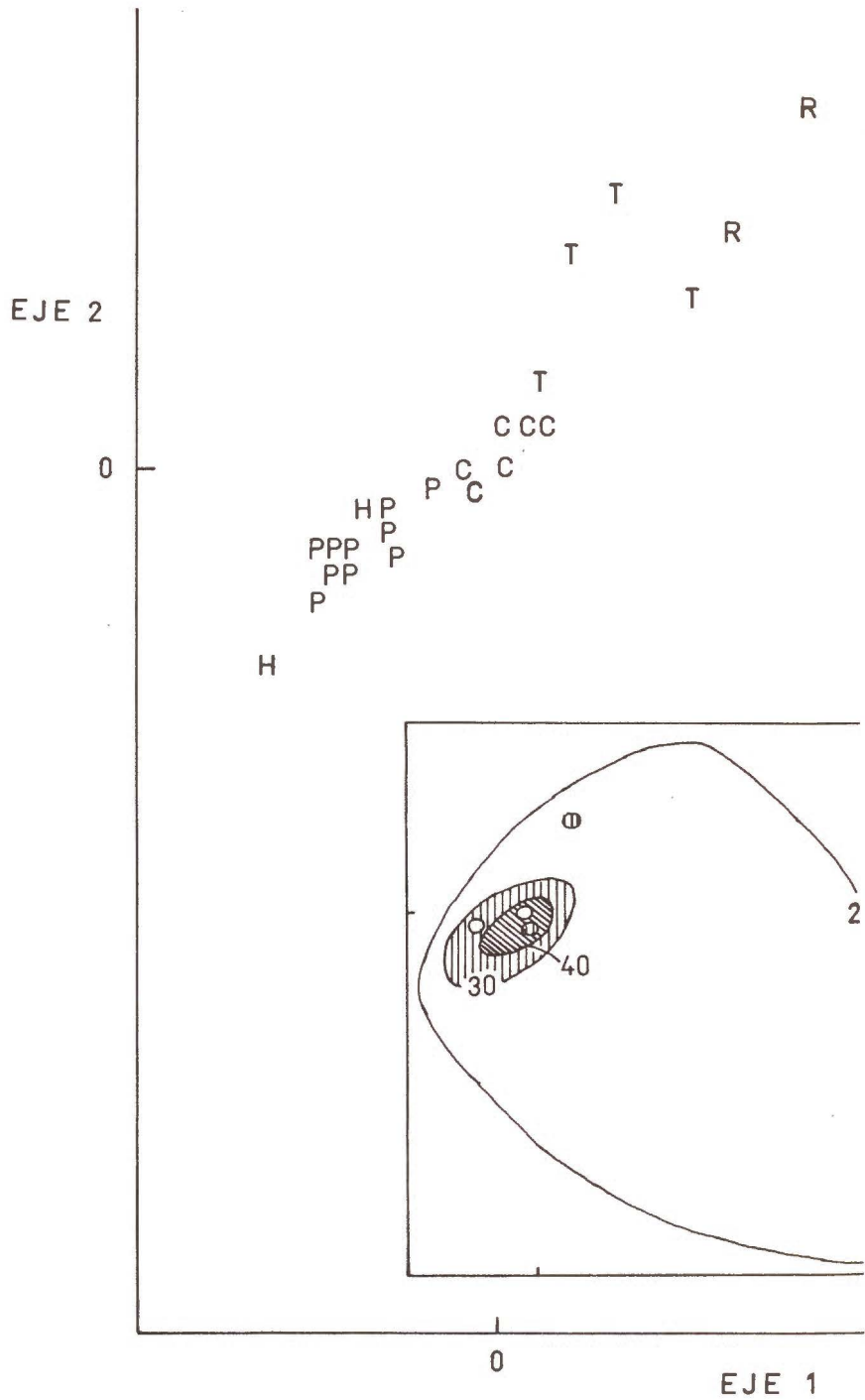


FIG. 1.—Ordenación de los 26 inventarios de 1 m², según los dos primeros ejes del análisis de correspondencias. Se especifica para cada cuadro el hábitat donde fue registrado: R = rocas, T = base de tronco, C = sombra de copa, P = pasto abierto y H = hozadero. En el recuadro inserto se han dibujado las isolíneas de riqueza en especies.



R

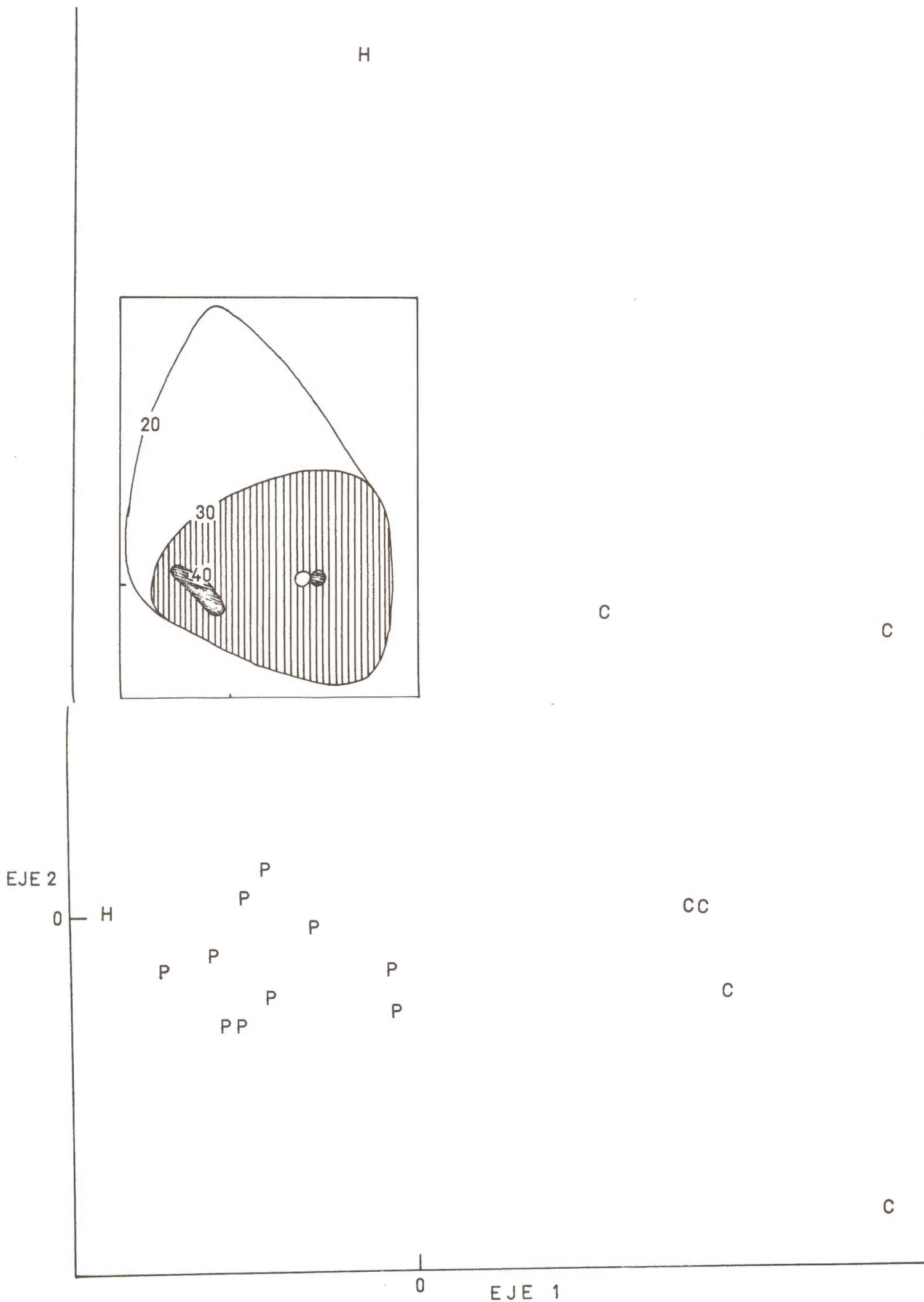


FIG. 2.—Ordenación parcial de los 18 inventarios (una vez excluidos los 8 procedentes de las rocas y base de troncos) según los dos primeros ejes del análisis de correspondencias. Los símbolos para los hábitats, como en la Figura 1. Se inserta el mapa de riqueza en especies.

TABLA III

Distribución del conjunto ("pool") de especies inventariadas entre los distintos hábitats muestreados

Hábitat	N.º de inventarios	N.º total de especies	N.º de especies "exclusivas"	Densidad de especies (n.º spp/m ²)	Homogeneidad intra-comunidad (HI)	Diversidad diferencial (DD)
Pasto abierto	10	74	9	37,1	0,66	2,0
Sombra de copa	6	70	6	34,8	0,56	2,0
Base de tronco	4	61	6	27,5	0,49	2,2
Rocas	4	51	10	21,7	0,41	2,3
Hozadero	2	39	3	24,5	0,42	1,6
Dehesa (suma de hábitats)	26	115	—	31,8	0,42	3,6

Por tanto, sólo un tercio de las especies aparecen segregadas en cuanto a hábitat.

2) La formación vegetal, sabanoide, presenta algunos individuos de especies fanerófitas (*Quercus rotundifolia*, *Pirus pyraister*) o caméfitas (*Cistus spp.*, *Chamerops humilis*) y una cubierta herbácea con predominio de terófitas (71% de las especies totales). Es decir, no existe una segregación marcada de tipos biológicos, aunque debido al proceso general de "miniaturización" de estos pastos, se debe estudiar a un nivel más fino diferencias de tamaño entre las terófitas coexistentes.

3) La fenología no ha sido estudiada, pero debido a la sincronización de lluvias y bajas temperaturas en el clima mediterráneo, el período de máximo crecimiento y reproducción suele estar bastante concentrado en la primavera, para la mayoría de las especies. Sin embargo, existe una cierta proporción de especies con fenología otoñal, invernal o estival, que necesita ser cuantificada. También es de esperar diferencias fenológicas entre las comunidades, p. ej. en las rocas la floración será más temprana que bajo la copa de la encina.

4) La regeneración parece una componente del nicho prometedor, a la hora de establecer diferencias de tamaño de semillas, síndromes de germinación, supervivencia de plántulas, etc. que expliquen la coexistencia de las numerosas especies con ciclo anual (Marañón y Bartolome, 1985).

Por otra parte, la vegetación de la dehesa está sometida a una perturbación de tipo pastoreo, que incluye no sólo una defoliación más o menos selectiva, sino también pisoteo, deyecciones, etc. Al herbívoro se le puede considerar como un diversificador de la comunidad de pasto, creando diferentes micro-ambientes locales y continuamente iniciando ciclos de regeneración a escala fina (Harper, 1977): 1) mediante la defoliación, mantiene la radiación en la planta por encima del umbral de competencia por la luz. 2) Redistribuye el nitrógeno y fósforo (en las deyecciones) diferenciando una micro-escala de menor competencia por nutrientes. 3) Dispersa las semillas (zoocoria). 4) Altera la superficie del suelo (pisoteo) originando una heterogeneidad espacial relevante para el establecimiento de las plántulas. 5) Destruye localmente la vegetación (hozado) creando nuevos espacios disponibles para la colonización).

En general, la coexistencia del alto número de especies de la dehesa se debe explicar en base tanto a la segregación de nichos (teorías de equilibrio) como a la influencia de las perturbaciones (teorías del no-equilibrio) (cf. Walker y Peet, 1983).

CONCLUSIONES

La parcela de 0,1 Ha de dehesa analizada presenta una alta diversidad florística (135 especies), con predominio de gramíneas, leguminosas y compuestas, y del tipo biológico terófito. Este espectro es similar al de otros pastos mediterráneos en California y Chile, aunque la diver-

sidad en la dehesa es mayor, comparable a la de bosques pastados en Israel o el "fynbos" sudafricano, por tanto, se puede considerar con ellos como uno de los tipos de vegetación con diversidad (a escala 0,1 Ha) más alta del mundo. A este respecto, es de destacar la superior densidad de especies (a escala 1 m²) de los pastos estudiados, que suelen superar las 40 especies/m², registrándose un récord de 45 spp/m².

La dehesa presenta una heterogeneidad de hábitat a media escala, originada por la presencia de las encinas y los frecuentes afloramientos rocosos, así como por las perturbaciones causadas por los animales domésticos y silvestres. La comunidad del pasto es muy rica en especies (37 spp/m²), disminuyendo esta riqueza ligeramente bajo la copa de los árboles (35 spp/m²) y más acentuadamente alrededor de los troncos (28 spp/m²), también es menor la diversidad en los alforamientos rocosos (22 spp/m²) y en los hozaderos (25 spp/m²). Las comunidades de las rocas y alrededor de los troncos aparecen como las más diferenciadas en composición específica, respecto del pasto abierto. Esta heterogeneidad ambiental a media escala contribuye decisivamente a la alta diversidad (escala 0,1 Ha) registrada.

No aparece una segregación marcada de nicho, en cuanto a sus componentes de hábitat (70% de generalistas) o tipo biológico (71% de terófitos). queda por estudiar la fenología y la regeneración como otras componentes del nicho, siendo la última de especial relevancia para las numerosas especies anuales. Por otra parte, es necesario estudiar el efecto del pastoreo sobre las distintas especies y sus relaciones de interferencia. La explicación de la alta diversidad florística de la dehesa debe investigarse en base a procesos de equilibrio (segregación de nichos) y de no equilibrio (perturbaciones).

RESUMEN

Se ha ensayado un método de análisis florístico y ecológico del pasto, en 0,1 Ha de dehesa del SO español. La alta diversidad obtenida, 135 spp/0,1 Ha y 31,8 spp/m², sitúa a la dehesa entre los tipos de vegetación con mayor riqueza en especies, a escala de 0,1 Ha, del mundo. Las familias *Gramineae*, *Leguminosae* y *Compositae* son dominantes, así como el tipo biológico terófito. Se distinguen 5 hábitats: rocas, base de tronco, sombra de copa, pasto abierto y hozadero, y se comparan las comunidades correspondientes, según su diversidad, homogeneidad y semejanza en la composición florística. Se discuten diversas hipótesis que puedan explicar la alta diversidad de esta formación vegetal.

*Departamento de Ecología.
Universidad de Sevilla. Sevilla, ap.1095*

AGRADECIMIENTOS

A D. Miguel Hughes las facilidades para investigar en la dehesa Navalagrulla, a F. Ortega su ayuda con los inventarios, a la Dra. R. Fernández Alés su colaboración en el procesamiento de datos, al Dr. García Novo y a un revisor anónimo los comentarios sobre el manuscrito. El MAB subvencionó parcialmente el estudio.

BIBLIOGRAFIA

1. BARBOUR, M. G., SHMIDA, A., JOHNSON, A. F. y HOLTON Jr., B. 1981. Comparison of coastal dune scrub in Israel and California: physiognomy, association patterns, species richness, phytogeography. *Israel J. Bot.* 30: 181-198.
2. GAUCH, H. G. 1982. *Multivariate analysis in community ecology*. Cambridge Univ. Press, Cambridge.
3. GONZALEZ BERNALDEZ, F., MOREY, M. y VELASCO, F. 1969. Influences of *Quercus ilex rotundifolia* on the herb layer at the El Pardo forest (Madrid). *Bol. R. Soc. Hist. Nat. (Biol.)* 67: 265-284.
4. GRUBB, P. J. 1977. The maintenance of species-richness in plant communities: the importance of the regeneration niche. *Biol. Rev.* 52: 107-145.
5. GULMON, S. L. 1977. A comparative study of the grassland of California and Chile. *Flora*, 166: 261-278.
6. HARPER, J. L. 1977. *Population biology of plants*. Academic Press, Londres.
7. HUSTON, M. 1979. A general hypothesis of species diversity. *Am. Nat.* 113: 81-101.
8. IGME. 1980. *Mapa geológico (E. 1:200.000) Sevilla, n.º 75*. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid.
9. INIA. 1975. *Mapas provinciales de suelos: Sevilla*. Ministerio de Agricultura, Madrid.
10. MARAÑON, T. 1986. Plant species richness and canopy effect in the savanna-like "Dehesa" of SW Spain. *Ecologia Mediterránea* (En prensa).
11. MARAÑON, T. y BARTOLOME, J. W. 1985. Seed and seedling populations in two contrasted communities: open grassland and oak (*Quercus agrifolia*) understory in California. *J. Ecol.* (enviado).
12. NAVEH, Z. y WHITTAKER, R. H. 1979. Structural and floristic diversity of shrublands and woodlands in northern Israel and other Mediterranean areas. *Vegetatio* 41: 171-190.
13. PIGNATTI, S. 1978. Evolutionary trends in Mediterranean flora and vegetation. *Vegetatio* 37: 175-185.
14. RAVEN, P. H. 1973. The evolution of Mediterranean Floras. En: *Mediterranean type eco-systems: origin and function*. F. di Castri y H. F. Mooney eds. Springer-Verlag, Berlin.
15. RICE, B. y WESTOBY, M. 1983. Plant species richness at the 0.1 hectare scale in Australian vegetation compared to other continents. *Vegetatio* 52: 129-140.
16. RICKLEFS, R. E. 1977. Environmental heterogeneity and plant species diversity: a hypothesis. *Am. Nat.* 111: 376-381.
17. RIVAS MARTINEZ, S. 1985. *Mapa de las series de vegetación de España. N.º 22 Sevilla*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid.
18. SHMIDA, A. 1981. Mediterranean vegetation in California and Israel: similarities and differences. *Israel J. Bot.* 30: 105-123.
19. VACHER, J. M., ORTEGA, F., FERNANDEZ, R. y MARTIN, A. 1986. Relaciones árbol pasto en la Sierra Norte de Sevilla. I. Efecto del árbol sobre la organización de las comunidades de pastizal. *Pastos* (en prensa).
20. WALKER, J. y PEET, R. K. 1983. Composition and species diversity of pine-wiregrass savannas of the Green Swamp, North Carolina. *Vegetatio* 55: 163-179.
21. WHITTAKER, R. H. 1977. Evolution of species diversity in land communities. *Evol. Biol.* 10: 1-67.

Recibido para publicación: 31-VII-85.

**REVISION MONOGRAFICA DE LA APLICACION DE
TECNICAS DE MICROANALISIS DE RAYOS-X
EN BIOLOGIA VEGETAL**

**MONOGRAPHIC REVIEW OF X-RAY MICROANALYSES
TECHNIQUES IN PLANT BIOLOGY**

Por

J. M. POZUELO y M. R. DE FELIPE

Instituto de Edafología y Biología Vegetal, Madrid.

Los progresos realizados en Fisiología Vegetal están íntimamente relacionados con el desarrollo de nuevas técnicas analíticas. Sucesivos progresos en la aplicación de la tecnología analítica han ido acompañados de nuevos descubrimientos, los cuales no fueron observados con el empleo de técnicas analíticas más groseras. Para alcanzar un conocimiento más profundo en los secretos de la vida de las plantas han sido empleados nuevos métodos analíticos que han permitido nuevas consideraciones en los estudios de los complejos procesos fisiológicos y bioquímicos, que han podido ser estudiados a nivel celular, subcelular y finalmente molecular. A lo largo de estos estudios, puede decirse que a cada paso del desarrollo de nuevas técnicas analíticas, se ha podido conocer más y más, acerca de "menos y menos". Dos técnicas pueden considerarse como ejemplares de esta búsqueda en profundidad de lo pequeño. El uso de radioisótopos en la autorradiografía a nivel de microscopía óptica y electrónica y la aplicación de la técnica de microanálisis de rayos X: conjunción del análisis de elementos químicos con su localización a nivel celular y subcelular (Tabla I).

La aplicación de radioisótopos como elementos trazadores revolucionó la metodología en la investigación vegetal. Sin embargo, hay necesidad de hacer determinaciones químicas de elementos en los tejidos vegetales, por un método por el cual se alcance no sólo una sensibilidad de detección comparable a la de los radioisótopos, sino que además, permita aplicarlo a áreas microscópicas del tejido estudiado. En una primera época, este objetivo se alcanzó por mediación del denominado "Electron Probe Analysis" (EPA) (análisis por detección de electrones) que posteriormente ha sido denominado EPMA (Electron Probe Microanalysis).

El tipo de microscopio electrónico usado en combinación con el sistema analítico de Rayos X, depende de los requerimientos particulares en los diferentes casos, teniendo en cuenta la resolución de la imagen y la resolución espectral. Con la aplicación del EPMA la resolución de la imagen es de alrededor de 1000 Å, con el equipo SEM + Rayos X.

(Scanning Analytical Electron Microscope) de 50-200 Å, mientras que con el TEM + Rayos X (TAEM) (Transmission Analytical Electron Microscope) se puede lograr entre 10 Å y 5 Å dependiendo de la naturaleza y espesor de la muestra. Es importante tener en cuenta que no todas las muestras biológicas son aptas para retener información a estos niveles. En muchos casos los objetos de localización pueden realizarse a un nivel de resolución de 100 Å.

Desarrollo histórico

La técnica de detección electrónica EPA se inició en el laboratorio del Prof. Guinier de París, cuando un estudiante graduado, Castaing diseñó un primer instrumento y sentó las bases para un estudio cuantitativo, químico y cristalográfico, que sirvió como tesis de doctorado en 1951. Pronto se desarrolló una tecnología en EEUU y Rusia que se aplicó a la metalurgia y a la mineralogía.

Poco más tarde Engström (1953) en un artículo publicado en *Physiol. Rev.*, sobre técnicas de Rayos X aplicados a la histoquímica, es el primero en mencionar la posibilidad de aplicar el EPA a estudios histológicos de cortes biológicos. Cuatro años más tarde Tousimis (1959) aplicó esta técnica para el estudio de Ca^{++} en secciones de 40 nm de huesos humanos. En años sucesivos se produce un rápido progreso de la tecnología y nuevos avances tienen lugar en el diseño de equipos, que conducen a que la técnica tenga aceptación en la investigación biológica aplicada a animales y al hombre.

El primer trabajo del que se tiene conocimiento aplicado a la localización de minerales en tejido vegetal, se publica en la revista *Experientia*, en 1966 por Läuchi y Schwander. Läuchli en 1966 y 1967 publica en *Planta*, el procedimiento seguido para la fijación de los iones solubles y localización de enzimas basándose en técnicas de criotomía y determina la distribución y movilidad del K, Ca, Sr y P en los órganos de plantas de *Zea mays*.

El interés de los fisiólogos vegetales en la aplicación de estas técnicas, se refleja en dos tempranas revisiones, Läuchli, 1968 y Rassmussen, 1968. La aplicación de esta técnica se ha extendido a otras áreas de investigación. Favali y col. (1980) estudiaron la formación de tumores en plantas de maíz, producidos por virus, y Luke y col. (1981) estudiaron la susceptibilidad de la calabaza a la infección por hongos, dependiendo del estado nutritivo de la planta con respecto a macro y micro nutrientes. Paralelamente, tiene lugar su aplicación a estudios de investigaciones en suelos, Cescas (1968), Gallaher (1973) y Gallaher y Perkin (1973). Tan (1979).

Con el avance de la tecnología, la sensibilidad de detección ha aumentado desde 10^{-15} g (Läuchli, 1972) a 10^{-18} g (Van Steveninck y col., 1976). Las casas comerciales están introduciendo grandes mejoras en cuanto a las posibilidades de análisis de estos equipos, como es el análisis por pérdida de energía de los electrones (electron energy loss analysis) o microespectroscopía que es esencialmente requerido para

TABLA I

Límites de sensibilidad de Métodos Microanalíticos

Método	Sensibilidad	Referencia
Químico	10^{-9}	Marton (1969)
Espectroscopía de Absorción	10^{-9}	Marton (1969)
Detección por Rayos Laser	10^{-11} (Mg)	Rosan, Brech y Glick (1965)
Espectroscopía de Emisión	10^{-12}	Marton (1969)
Radioensayo de ^{14}C	10^{-12}	Chase y Rabinowitch (1962)
Espectroscopía de Masa	10^{-13}	Marton (1969)
Análisis por detección de electrones (EPMA)	10^{-15} a 10^{-18}	Andersen (1967), van Stevenick (1976)
Radioensayo de ^{32}P	10^{-16}	Chase y Rabinowitch (1962)
Microscopía Electrónica Analítica (EMMA 4)	10^{-17} a 10^{-19}	AEI Scientific Apparatus Inc. (1970)
Análisis de Masa iónica	10^{-20} (Na)	Galle, Blaise y Slodzian (1969)

Según A. Läuchli, en *Microautoradiography and Electron Probe Analysis. Their Application to Plant Physiology* Edt. U. Lüttge. Springer-Verlag. 1972, pág. 193.

el análisis de elementos de bajo número atómico y puede conducir a microanálisis a nivel molecular.

El uso de las técnicas de microanálisis en Biología Vegetal, se ha re-trasado por varias razones: en primer lugar, el alto costo de los microscopios electrónicos con dispositivos analíticos, en segundo lugar, por problemas inherentes a la estabilidad de la muestra durante el análisis y falta de procedimientos apropiados para la preparación de los tejidos, y por falta de sensibilidad de los equipos para detectar elementos de bajo número atómico o en baja concentración. Si bien, los equipos comerciales han experimentado un avance considerable permitiendo su amplia aplicación en Biología, el mayor problema todavía reside, en la preparación de la muestra. En el proceso de fijación se pretende conseguir un doble fin: primero mantener la estructura celular y segundo, retener los iones en los lugares que ocupan en los tejidos. Läubli (1975), Spurr (1980), Markhart y col. (1982).

Preparación de las muestras para el análisis

La técnica adecuada, debe impedir el movimiento de los iones solubles durante el procesamiento de los tejidos, al mismo tiempo que, la preservación de la ultraestructura celular, que permite la identificación de componentes subcelulares. Como es sabido, los elementos pueden estar en los tejidos en forma de electrolitos o en forma covalente. Los primeros serán fácilmente desplazados en soluciones acuosas u orgánicas, de ahí el cuidado que requiere la localización de los elementos solubles. Se han usado los siguientes métodos:

1) METODO CONVENCIONAL. Fijación en glutaraldehído al 3% en solución tampón: fosfato, cacodilato, etc. y postfijación en 2% de tetróxido de osmio, siguiendo la deshidratación en alcohol o acetona e infiltración e inclusión en resinas. Ha sido usado en un 48% de los trabajos aparecidos en la literatura, aún siendo de los menos apropiados en el caso de elementos solubles (Van Steveninck y Van Steveninck, 1978). En estos trabajos se ha seguido la pérdida de elementos químicos en las soluciones por espectrometría de absorción o por trazadores radioactivos.

2) FIJACION HISTOQUIMICA. Consiste en que el elemento a analizar es precipitado "in situ" formando un producto final para su análisis posterior. Las técnicas más empleadas son las del nitrato de plata para detectar Cl^- , formando un precipitado negro de cloruro de plata (Ziegler y Lüttge, 1976; Van Steveninck y Chenoweth, 1972; Läubli, y col., 1974; Stlezer y col., 1978; Pozuelo y De Felipe, 1978).

El piroantimoniato potásico se ha venido usando para la localización de Na^+ (Komnick, 1962; Komnick y Komnick, 1963; Levering y Thompson, 1972), y también en la precipitación de Ca^{++} y Mg^{++} (Tandler y col., 1970; Clark y Ackerman, 1971; Tandler y Kierszenbaun, 1971; Gardfield y col., 1972; Klein y col., 1972; Tandler y col., 1973; Van Steveninck y col., 1976; Simson y col., 1979). La benzamida ha

sido empleada por Spurr (1972), para la localización de Ca^{++} y Na^{++} y el oxalato amónico, para la determinación de Ca^{++} (Braatz y Komnick, 1973). El acetato de plomo, para la localización del ión PO_4^- (Tandler y Solari, 1969; Libanati y Tandler, 1969). El nitrato de plomo se ha usado, para la determinación de las ATPasas y fosfatasas (Poux, 1967; Zarr y Scnepf, 1969; Hall, 1969, 1970, 1971, 1973; Coulomb y Coulomb, 1972; De Felipe y Pozuelo, 1979). También se ha usado el cobaltinitrito y el tetrafenil borato, para la localización de K^+ . Diversos autores han utilizado el primero, para mostrar la influencia de K^+ en la apertura de las células de guarda de los estomas (Fujino, 1967; Fisher, 1968; Humble y Hsiao, 1969; Willmer y Mansfield, 1970; Humble y Raschke, 1971). Steveninck y col. (1981) intentaron adaptar el método para el microscopio electrónico sin conseguir resultados satisfactorios.

La técnica de precipitación con tetrafenilborato, que ha sido estudiada por Van Steveninck y Van Steveninck, 1981, lleva consigo la necesidad de hacer la inclusión del tejido vegetal en glutaraldehído-urea, (Van Steveninck y col. 1974) para evitar la solubilización del precipitado en los disolventes orgánicos, utilizados en la deshidratación del tejido. La fijación e inclusión se realiza a pH próximo a 7,6, para impedir la interferencia producida por el ión NH_4^+ o por los compuestos básicos del nitrógeno. La precipitación seguida de fijación con osmio preserva bien el tejido, sin embargo, la naturaleza del precipitado debe de comprobarse por microanálisis de rayos-X por estar integrado por $\text{K} + \text{Os}$, por K o por Os . Aunque la solubilidad del tetrafenilborato-K es menor que la del cobaltinitrito-K, Steveninck observa que también se produce disolución del precipitado durante los cortes de tejido incluido. La pérdida de K que se puede producir durante la infiltración con glutaraldehído, no fue determinada.

El empleo de tetróxido de osmio (OsO_4) que permite una buena fijación del tejido lleva consigo el desplazamiento de iones solubles, Lott y col. (1978). Algunos autores en determinaciones semicuantitativas hacen una ligera fijación con OsO_4 para obtener mejor fijación del tejido. Sin embargo del uso del OsO_4 debe de huirse si se pretende determinar P o Si por tener energía de emisión de los electrones próximos y solaparse los picos.

Stockwell y col., 1982, estudiaron la fijación del Ca en hojas de guisante, usando el piroantimoniato-K y el oxalato- NH_4 como precipitantes del Ca^{++} , encontrando que, durante la fijación del tejido se producía pérdida del contenido en Ca , que alcanzaba entre el 70% y el 80%, no siendo válido utilizar este procedimiento de fijación para hacer determinaciones cuantitativas. La fijación de Ca^{++} por este procedimiento, presenta además el inconveniente que si se pretende realizar determinaciones usando la dispersión de energía de rayos-X, el pico de energía K del Ca que es de 3.693 ev se solapa con el L_{a1} del Sb que es de 3.604 ev, y con el pico menor del K que es de 3.591 ev, debido a que el analizador no tiene poder de resolución para separar energías con diferencias de 100 ev.

Por lo expuesto, se puede resumir que si se pretende realizar deter-

minaciones cuantitativas de los tejidos, es necesario tener conocimiento previo de las pérdidas del elemento, durante el proceso de fijación y además, que no se produzcan interferencias espectrales entre los elementos introducidos durante las manipulaciones de fijación del tejido.

3) CRIO-TECNICAS O CONGELACION DE TEJIDOS. Para evitar la formación de los cristales de hielo, que alteran la distribución de los constituyentes celulares e impiden una buena imagen en el microscopio electrónico, se ha utilizado el enfriamiento rápido de los tejidos vegetales, y la adición de sustancias crioprotectoras que impiden la formación de cristales de hielo, Nei (1976), Moreton y col. (1974).

Costello y Corless, 1978, estudiaron la velocidad de enfriamiento que producen diferentes sustancias usadas como medio de congelación. El rango de temperaturas estudiadas fue entre 273° K y 173° K por ser este intervalo donde se considera que se forman los cristales de hielo. La velocidad de enfriamiento que transmiten diferentes sustancias se compararon con la del nitrógeno líquido, observándose que el propano como transmisor del enfriamiento es 6 veces mayor que el nitrógeno líquido. El freon 13, 22 y 12 tiene velocidades de enfriamiento de 5, 4 y 3 veces mayor que el nitrógeno líquido; el isopentano es 3 veces más rápido y el nitrógeno sólido de 2 a 3 veces. Las muestras congeladas pueden observarse directamente al microscopio electrónico de barrido. Mediante el corte de la muestra, puede estudiarse la superficie interna sin necesitar recubrirse de una sustancia conductora (Echlin, 1971; Sauberman y Echlin, 1976; Echlin, 1978; Echlin, 1982).

Actualmente, empresas relacionadas con la microscopía electrónica fabrican dispositivos térmicos a temperatura de 83° K (-190° C) que permiten mantener muestras de tejidos cortados y colocados sobre rejillas en el crioultramicrotomo y tenerlas en condiciones para su observación al microscopio electrónico de transmisión.

Markhart y Läuchli (1982) hicieron un estudio comparativo de la distribución del Na, K, Mg, Cl y S en las células del cilindro vascular y cortical de raíces de cebada, utilizando nitrógeno líquido, nitrógeno sólido y Freon 12. Los resultados obtenidos mostraron que usando nitrógeno líquido como vehículo de refrigeración, el citoplasma de las células, adopta una estructura fibrosa que se manifiesta en forma de profundas estrías, de manera similar a las observadas por Yeo y col. (1977), Pitman y col. (1981). Con nitrógeno sólido y Freon 12, las células muestran una superficie lisa. La preservación del citoplasma, es satisfactoria con Freon, observándose las vacuolas y la membrana plasmática, sin embargo, no se distinguen núcleos ni mitocondrias.

Las determinaciones cuantitativas realizadas usando la dispersión de energía, dan valores que son independientes de la sustancia de refrigeración empleada, salvo en el contenido de Cl, que por impurificación debida al Freón, diclorofluorometano, da resultados altos, Stelzer (1981); Marhart y Läuchli (1982). La mayor dificultad que consideran los autores para las determinaciones cuantitativas, provienen de la topografía de la superficie del corte, porque si bien, es posible comparar

distintos niveles de concentración de los elementos, los datos no son aún suficientemente exactos para adscribir concentraciones absolutas a la altura de los picos.

El empleo de sustancias crioprotectoras que impiden la formación de cristales de hielo y producen un estado sobre enfriado que confiera al tejido dureza y rigidez a las células, sin introducir alteraciones de los constituyentes del citoplasma, ha sido estudiado por Echlin y su equipo, Franks y col. (1977) Skaer y col. (1977) y Echlin y col. (1977). El uso de polímeros de bajo peso molecular: glicerina, dimetilsulfóxido (DMSO), permiten una buena preservación de la estructura, pero debido al aumento de la permeabilidad de membrana, su empleo queda descartado en determinaciones cuantitativas. El empleo de polímeros de alto peso molecular, polivinilpirrolidona (PVP) o hidroxietil de almidón (HES), Echlin y col. (1977), Scheie y col. (1982), dan resultados más satisfactorios cuando se utilizan muestras de 1 mm. El empleo del PVP junto con la sustancia tampón, hace innecesaria, según algunos autores, la fijación del tejido antes de usar el crioprotector. Wilson y Robards (1982), realizaron un estudio comparativo de distintas técnicas de congelación, en presencia de PVP usando raíces de guisante, concluyendo que había poca mejora en la preservación del tejido, si es que alguna se producía. Potencialmente la crioultramicrotomía es la más simple de las técnicas, para la preservación de los tejidos y determinaciones de los constituyentes químicos en las células, Echlin (1979), Skaer (1981).

4) **TECNICAS DE SECADO.** Tienen por finalidad eliminar el agua de los tejidos pasándola al estado gaseoso. Se han desarrollado tres técnicas:

a) *Secado al aire (air drying).* Es la más simple y rápida de las tres, mediante la cual no existe contacto de los tejidos con líquido alguno. Sin embargo, la salida del agua al pasar a la atmósfera, puede causar distorsión en las células epidérmicas, debido a las fuerzas de tensión superficial. Estas fuerzas, se pueden reducir si el agua se reemplaza por acetona o etanol que tienen menor tensión superficial. El método ha sido usado para análisis en espermatozoos, bacterias, algas, etc.

b) *Secado bajo congelación (freeze drying).* Considerado entre los métodos preferentes. Es aplicable bajo ciertas condiciones porque se sabe que produce artefactos en los tejidos a nivel subcelular (Bielecky, 1966; Trip y Gorham, 1967). Consiste en una congelación previa de la muestra 103°K (-170°C) en una mezcla frigorífica y posterior liofilización a baja presión y temperatura. Evita los artefactos producidos en la interfase agua/aire, porque los cristales de hielo formados en la congelación se subliman bajo vacío. Sin embargo, el movimiento de fase sólido/líquido, sólido/vapor puede producir algunas distorsiones (Appleton, 1972 y 1974; Weavers, 1973; Chandler y Battersby, 1976).

c) *Punto crítico (critical point).* Se trata de evitar la distorsión producida por la tensión superficial del agua al pasar de líquido a gas. En esta técnica, el agua de los tejidos es reemplazada por un líquido que pasa

a gas en condiciones más favorables que el agua (punto crítico $T = 374^{\circ}\text{C}$ y $P = 218$ atm). Sustituyendo el agua por anhídrido carbónico líquido (punto crítico = 31°C y $P = 78$ atm), la superficie de tensión del líquido se hace cero y el secado se logra con una mínima distorsión. El anhídrido carbónico líquido, no es miscible con el agua, por lo que en una fase previa, se deshidrata la muestra con etanol y posteriormente se añade acetato de amilo que desplaza el etanol y es miscible con el anhídrido carbónico líquido. El óxido nitroso líquido, tiene un punto crítico similar al del anhídrido carbónico líquido y es miscible con el agua, permitiendo su uso sin intermedio de otro solvente. El Freón 13 permite acortar el tiempo de procesado, al ser miscible con el etanol y evita el empleo de acetato de amilo. Además tiene la ventaja de ser inodoro, inocuo, no inflamable e inerte. Parsons y col. (1974) estudiaron la preservación de tejidos vegetales por diferentes técnicas, para el estudio al microscopio SEM, y obtuvieron los mejores resultados cuando realizaron la deshidratación con etanol/acetato de amilo y anhídrido carbónico líquido, indicando que el empleo de acetato de amilo no es esencial para obtener buenos resultados. La preservación de los tejidos se mejora haciendo una previa fijación suave con glutaraldehído seguido de tetróxido de osmio, Kronstedt y Echlin (1982).

5) SUSTITUCION BAJO CONGELACION (Freeze substitution). Técnica que requiere el mayor cuidado en cuanto a conseguir condiciones anhidras durante la preparación de la muestra (Fisher, 1972; Fisher y Housley, 1972). Läuchli, Spurr y Wittkop (1970) usaron éter etílico anhidro durante la deshidratación, a 243°K (-30°C) mediante el empleo de óxido de aluminio durante el periodo completo de la deshidratación. Romati y Nililiphschitz (1975) y (1976) utilizaron unas gotas de xildeno que depositaron sobre el tejido a 270°K , (-20°C), durante una noche. Este procedimiento permite mantener en las formas usuales las paredes celulares, citoplasma, núcleo, cloroplastos y vacuolas. Los autores afirman que no se produce pérdida de los elementos solubles. Pallyghy en 1973, publicó un procedimiento de sustitución en congelación ("freeze substitution") en el que empleó cribas moleculares activadas en combinación con el agente deshidratante, acetona o éter etílico. Esta técnica se ha convertido en la actualidad en la de mayor aplicación para analizar elementos solubles en agua, permitiendo una buena preservación del tejido y una mínima movilidad de los elementos, por permanecer el disolvente anhidro durante toda la deshidratación. El método ha sido usado por Pallyghy (1973) para analizar Cl^- y K^+ en hojas de maíz, por Harvey y col. (1976) para analizar Cl^- y Na^+ y K^+ en halofitas. Newmann y Janossy (1980 y 1981) lo han utilizado e introducido ligeras modificaciones en las determinaciones de la distribución de los iones K^+ , Ca^{++} , Fe^{++} y Cl^- en cloroplastos por la acción del ácido giberélico en el ciclo luz-oscuridad, y por De Felipe y Vivo (1982) para analizar Fe^{+++} en las células de los cotiledones de *Pisum sativum*. Harvey (1982), ha realizado una interesante recopilación de la aplicación de la técnica de sustitución en congelación, dedicando especial atención a la retención de los iones "in situ".

Recientemente Ross y col. (1983) han hecho un estudio de la estabilidad de las células de hojas de tomate con vista a hacer determinaciones cuantitativas, por medio del análisis por activación de neutrones y observaciones al microscopio de transmisión, e indican que las mejores preservaciones del tejido se obtuvieron usando como sustancia de sustitución, acroleína 20% en éter, van Zyl y col. (1976). Para evitar la introducción de correcciones en determinaciones cuantitativas debido a la descomposición de las cribas moleculares, que pueden introducir errores del 11% en Na, 10% en K y de 2,3% en Ca, introducen el uso de gel de sílice en n-propanol como deshidratante.

GROSOR DE LOS CORTES

Independientemente del procedimiento seguido para la preparación de los tejidos, las secciones deben de tener un espesor del orden de 150 a 200 nm, cortes finos, para observaciones al microscopio electrónico de transmisión y superiores a los 2000 nm, cortes gruesos, para el microscopio de barrido (Chandler, 1979). Ciertas técnicas de medidas como es el EEL hacen necesario obtener cortes inferiores a los 70 nm, color de plata. Tokuyasu (1973), Tsuji (1980) obtienen cortes con el ultramicrotomo de avance mecánico de 35 nm.

Los cortes ultrafinos de tejidos no deshidratados, tienen ventajas sobre las muestras incluidas en plástico, por reducirse la extracción de los constituyentes biológicos y visualizarse la ultraestructura por medio de tinción negativa con la sal sódica del ácido silico-túngstico al 4% y permite realizar determinaciones enzimáticas e inmunológicas en los cortes.

Para realizar observaciones estructurales, los cortes de las muestras incluidos en resinas pueden recubrirse con películas de carbón, aluminio, cobre o berilio, si bien el berilio no se utiliza debido a su alto coste. El espesor de la capa metálica en cortes finos y ultrafinos no debe ser superior a 5 nm para evitar disminuir la resolución de la imagen. Para cortes gruesos, el espesor puede alcanzar 50 nm. El efecto de la metalización, es reducir las cargas electrostáticas, para mejorar la visión de la imagen, dispersar el calor producido por el bombardeo de electrones, especialmente en las muestras gruesas, e impedir la movilización de elementos solubles. Aunque en determinaciones de estructuras y en microanálisis no siempre se metalizan las muestras, Marshall (1975) y Chandler (1978) aconsejan el recubrimiento de las muestras biológicas.

En determinaciones cuantitativas o semicuantitativas el principal objetivo del procesamiento de las muestras es el mantener los elementos "in situ", perdiéndose si es necesario la claridad del contraste entre los constituyentes de las células.

PATRONES CUANTITATIVOS

Aunque muchos análisis cuantitativos han sido realizados usando patrones que no son de naturaleza similar a las muestras estudiadas, es necesario preparar patrones similares a las muestras que se investigan parti-

cularmente en cuanto a la textura de la superficie, el grosor de la muestra, la homogeneidad interna, y han de ser particularmente estables al flujo de electrones. El patrón debe ser similar a la muestra que se estudia en cuanto sea posible en su composición química y propiedades físicas (Läuchi, 1972). Los patrones usados en trabajos de metalurgia y mineralogía difieren de los requeridos en trabajos biológicos.

Para patrones biológicos, Spurr (1974, 1975) y Harvey (1980b) describieron métodos en los que se disuelven las sales inorgánicas, en disolventes orgánicos anhidros, para obtener una sal del ión metálico en forma de complejo de un poliéster macrocíclico, que una vez aislado, se añade a la resina en proporciones convenientes. La resina se polimeriza en la forma usual y se secciona.

Spurr, obtuvo resultados satisfactorios para patrones de Na y de K usando compuestos de tiocianato que añade a una resina epoxy. Chandler (1976) preparó patrones de Na, K y Zn en araldita con sales de cianuro, y recientemente Harvey y col. (1980) usando para el ión Na, sales de tetrafenilborato, tetrafluorborato y cianuro no obtuvieron patrones homogéneos. Con sales de ioduro y bromuro obtuvieron muestras homogéneas hasta concentraciones de 20 meq/l. Con tiocianato de sodio y cianuro de potasio obtuvieron muestras homogéneas hasta concentraciones de 600 meq/l. Para patrones de Cl utilizaron el 1,2, 3-triclorobenceno, obteniendo concentraciones homogéneas hasta 1000 meq/l. Newman y Janossy (1981) utilizaron dentina para determinaciones cuantitativas de Ca en tejidos vegetales.

Roomans (1977, 1979), Hagler y col. (1983), prepararon patrones para el estudio de muestras congeladas utilizando soluciones incluidas en gelatina-glicerina.

RESULTADOS EXPERIMENTALES

Distribución de Na⁺, K⁺ y Cl⁻ en plantas Halofitas

En un trabajo llevado a cabo por el grupo de la Escuela de Ciencias Biológicas de la Universidad de Sussex, en Brighton, (Harvey y col. 1981), sobre determinación cuantitativa de iones en células del mesófilo de hojas de *Suaeda maritima*, usando el TAEM, encontraron en muestras de hojas de 1 mm, que aproximadamente el 96% del contenido total de Na⁺, K⁺ y de Cl⁻ queda retenido al aplicar la técnica de sustitución en frío utilizando acetona como deshidratante. Al usarse éter en vez de acetona, el contenido de los iones se retiene en un 90%. Sin embargo, como las muestras seccionadas se recogen en el ultramicrotomo sobre agua, se produce una pérdida en los cortes de ²²Na⁺ y ³⁶Cl⁻ de un 87% y 58% respectivamente. Al sustituir el H₂O por sustancias no polares, (mezcla de volúmenes iguales de etilenglicol, polietilenglicol 200 y cloroformo), la pérdida que se produce es del 24% de ²²Na⁺ y 21% de ³⁶Cl⁻. Resultados que hacen inaceptable la recogida de los cortes en una solución química, por ello utilizan directamente las secciones secas

TABLA II

Concentraciones medias de los iones Na⁺, K⁺ y Cl⁻ en el interior de los principales compartimentos de las células del mesófilo de la hoja de Suaeda marítima L. () (según D.M.R. Harvey y col., 1981).*

% de frecuencia del tipo de células	Compartimento	Concentraciones de los iones en mol/m ³		
		Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻
60	vacuola	565 ^(***)	24	388
	cloroplasto	93	16	85
	citoplasma/pared celular	109	16	21
	pared celular/espacio intercelular (**)	132	13	36
30	vacuola	422	11	301
	cloroplastos	75	29	86
	citoplasma/pared celular	146	28	112
	pared celular/esp. intercel.	381	17	368
	espacio intercelular	22	0	38
10	vacuola	286	21	284
	cloroplasto	257	36	212
	citoplasma/pared celular	71	0	134
	pared celular/espacio intercelular	0	15	58

(*) La concentración expresada en mol/m³ son valores determinados por unidad de volumen total (o masa del material presente) que no coincide exactamente con mM medidos por unidad de agua, excepto en el caso de determinaciones realizadas en el interior de vacuolas y espacios intercelulares.

(**) Cuando los dos compartimentos se indican juntos, el análisis se realizó principalmente en el primero, pero debido a la estrechez del citoplasma y de algunas paredes celulares en las hojas, el análisis de algunos de los componentes nombrados en segundo término son imposibles de realizar.

(***) El análisis estadístico de los valores medios individuales es problemático porque tres fuentes de inexactitudes se producen: pérdidas mínimas de iones se producen durante la preparación de las muestras (Harvey y col., 1976 b), inexactitudes inherentes al análisis y calibrado del instrumento (Hall, 1972, Harvey y col., 1980 a) y variaciones producidas en las repetitivas determinaciones realizadas. Los valores procedentes de las dos primeras fuentes de inexactitudes mencionadas son imposibles de determinar en el análisis individual. Sin embargo sería correcto estimar un error standard general de los valores medios de la Tabla, del orden del 20%.

para las determinaciones cuantitativas. Ross y col. (1983), extienden las muestras recogidas en seco, sobre una pequeña gota de agua destilada que rápidamente secan con una pastilla de sílice.

Los resultados expuestos en la Tabla II muestran que las células del mesófilo de la hoja de Suaeda no son equivalentes en cuanto a la relativa concentración de iones que se encuentran en los distintos compartimentos subcelulares.

En un 60% de las células analizadas, el ión Na^+ , Cl^- y el pequeño contenido de K^+ , se encuentran en vacuolas, mientras que los cloroplastos, citoplasma/pared celular y pared celular/espacios intercelulares, contienen cantidades pequeñas.

En otras células, que corresponde al 30% de las células estudiadas, la concentración de Na^+ y Cl^- en las vacuolas es similar a la que se encuentra en la pared celular/espacio intercelular, mientras que el citoplasma y la región citoplasma/pared celular permanece baja en Na^+ y Cl^- . En un 10% de las células estudiadas, la concentración de Na^+ y Cl^- en las vacuolas es próxima al contenido en los cloroplastos. Resultados que permiten prever que dado que las células de los tres grupos indicados difieren significativamente en la concentración de iones que se acumulan en los distintos compartimentos subcelulares, también puede variar su capacidad de síntesis de compuestos orgánicos así como las sustancias que afectan a la turgescencia de las células.

Harvey y col. (1980) estudiaron la distribución de Na^+ , K^+ y Cl^- en la Suaeda marítima crecida en un medio que contenía NaCl. Usando un detector de dispersión de energía, determinaron la distribución de los iones Na^+ , K^+ y Cl^- en los cloroplastos y vacuolas. La distribución de Na^+ y K^+ fue de aproximadamente 125 mM en el citoplasma y de 590 mM en las vacuolas. El Na^+ se concentra principalmente en las vacuolas y en menor concentración se encuentra en los cloroplastos y en la porción citoplasma/pared celular. La razón Cl^-/Na^+ es muy elevada en las vacuolas, indicando que la absorción de los iones Cl^- y Na^+ no es estequiométrica y además que durante el procesamiento de la muestra para la fijación y seccionamiento, no se produce redistribución de los elementos solubles. La distribución del K^+ en las muestras sin tratar con NaCl, está principalmente en los cloroplastos y es desplazado por el Na^+ en las muestras tratadas con solución salina.

Storey y col. (1983) estudiaron la distribución de iones solubles en plantas de *Atriplex spongiosa* en tejidos meristemáticos de raíces y en hojas, usando para la preparación de los tejidos la técnica de congelación de las muestras hidratadas. En el citoplasma de las células meristemáticas de la raíz se produce una marcada selectividad por los iones K^+ frente a los iones de Na^+ produciéndose ligeras variaciones al aumentar la concentración de NaCl en el medio. En las células vacuoladas del cilindro cortical, también se produce, aunque en menor grado, la especificidad del K^+ , lo que conduce a que en las soluciones salinas se produzca un gradiente de disminución de la razón de concentraciones Na/K desde la epidermis hacia el interior del cilindro cortical. El aumento de concentración de Na^+ en la parte aérea en el cilindro vascular y células del parénquima del xilema se debe a un efecto de desplazamiento

del Na^+ por el K^+ de las células del parénquima del xilema de la raíz y conducción del Na^+ a la parte aérea, al tiempo que se produce el descenso del K^+ vía floema para entrar en el ciclo de desplazamiento del Na^+ .

En las hojas el gradiente de distribución de la razón de concentración Na/K sufre una ligera alteración según se consideren concentraciones salinas hasta 200 mM o superiores. En concentraciones hasta 200 mM la concentración en las células de acompañamiento del xilema es superior al encontrado en las vacuolas de las células del mesófilo y epidermis, e inferior al que se obtiene en las células que forman las glándulas de secreción de la epidermis. En condiciones de mayor concentración salina, la concentración de las células del parénquima del xilema es inferior a la concentración en las células más externas indicadas anteriormente.

Mecanismo de exclusión de Na en plantas no halofitas. Relación Na/K

Yeo y col. (1977) estudiaron la distribución del Na^+ y del K^+ en raíces de maíz, usando dosis crecientes de Na^+ en el medio de crecimiento. Estudiaron la distribución del Na^+ a lo largo del cilindro radicular usando cortes de tejidos obtenidos por criotomía, 23° K (-150° C). Observaron que la relación Na/K aumentaba con la distancia del ápice. El estudio de la distribución de los iones en las células de la raíz, mostró que el Na^+ se acumulaba en el parénquima del xilema que actúa como receptáculo de acumulación, e impide que se trasloque a la parte aérea de la planta. La interacción del K^+ sobre el Na permite al K^+ desplazar al Na^+ de los vasos del xilema y acumularlo en las células de acompañamiento del xilema.

Stelzer (1981) y Winter y Preston (1982) estudiaron la distribución del Na^+ en hojas de plantas no halofitas: *Puccinellia* y *Trifolium*, en medios nutritivos con concentraciones de NaCl variable entre 0-320 mmol obteniendo resultados que para concentraciones entre 0 y 80 mmol de NaCl, el Na^+ se acumula en las células de acompañamiento del xilema y para concentraciones superiores la distribución del Na^+ es bastante uniforme entre las células parenquimatosas del xilema y las células del mesófilo de la hoja.

Dos mecanismos reguladores del contenido de Na^+ en la parte aérea de la planta tienen lugar uno en la raíz y otro en la hoja. El K^+ que actúa como excluyente del Na^+ en el xilema, es traslocado a la raíz desde la parte aérea, vía floema. Winter y Preston (1982) consideran, que la descomposición que se produce en las células del floema se debe al aumento de la relación Na/K. La mayor razón de la relación Na/K se encuentra en las células de acompañamiento del haz que circunda al sistema vascular del xilema y floema, y en las células de la epidermis y primera fila exterior de las células del mesófilo del haz y envés producido por acumulación, como consecuencia de la evaporación del agua de las hojas. En las condiciones actuales de la espectrometría de microanálisis de rayos X no pueden darse concentraciones absolutas de los iones, solamente la relación entre ellos. Markhart y Läuchli (1982) expresan las

diferentes concentraciones de los elementos analizados, como porcentaje de las alturas correspondientes a los elementos estudiados.

Newmann y Janossy (1981) estudiaron la distribución del S, Cl, K, Ca y Fe en cloroplastos de hojas de tabaco. Durante las horas de luz se produce hinchamiento de los tilacoides adquiriendo un estado normal en la oscuridad. Las distorsiones producidas en los tilacoides se deben a la formación de vesículas con contenidos altos de S, Cl⁻, K⁺ con respecto a las que encuentran en las vacuolas en el estroma. La concentración de Ca⁺⁺ se mantiene constante en ambas condiciones fisiológicas de las células. Durante las horas de luz se produce disminución del potencial del agua por aumento de Cl⁻ y K⁺ en las vacuolas, produciéndose absorción de agua. En la oscuridad el sistema se desplaza hacia mayor concentración de iones en las vacuolas del estroma y se normaliza la ultraestructura de las organelas.

Distribución de Ca⁺⁺ y K⁺ en raíces de plantas calcícolas y calcífugas.

El conocimiento de la distribución del Ca⁺⁺ a nivel celular en el cilindro de la raíz, ha de ser uno de los estudios básicos para comprender el comportamiento del Ca⁺⁺ en el proceso de absorción y traslocación a la parte aérea de la planta. Chino (1979), estudió la distribución del Ca⁺⁺ y del K⁺ en raíces de plantas de soja (planta calcícola), y en maíz (planta calcífuga), con ayuda de un microscopio de barrido que contenía analizador de energía dispersiva de rayos-X (EMA). Estudió cortes de 100 μm a 253° K (-20° C) liofilizados, tomados a 3 cm del ápice. Las muestras liofilizadas se recubrieron con una película de carbón de 100 Å. Aunque el EMA carece de suficiente poder de resolución para determinar la distribución de los iones en vacuolas y membranas, se pueden distinguir diferencias en la distribución de los iones en las raíces.

En plantas de soja la acumulación de Ca⁺⁺ se produce en la región externa a las células de la epidermis, capa mucilaginoso, y en células próximas al floema: periciclo, parénquima del floema y endodermis. Sin embargo, no se produce acumulación en las células que están próximas a los polos del xilema. El K⁺ se acumula preferentemente en las células próximas al cilindro vascular y en menor cantidad en las células externas al cilindro cortical. En las raíces de maíz, la acumulación de Ca⁺⁺ se produce en los pelos radiculares, en células de la epidermis y endodermis. No se observa acumulación en el cilindro vascular. El K⁺ se encuentra igualmente distribuido entre las células de la endodermis y el cilindro vascular.

Los resultados del estudio de la traslocación de los iones en las raíces demostraron que en la soja el Ca⁺⁺ acumulado en la epidermis y capa mucilaginoso es fácilmente traslocado mientras que, el acumulado en la endodermis es fuertemente retenido y su concentración aumenta durante el tiempo de estudio de la traslocación con respecto a las plantas patrones. El K⁺ es fácilmente traslocado y no se observa acumulación en

ninguna región sino que se produce disminución de concentración durante el tiempo de estudio.

Estos resultados indican que, en las plantas calcícolas la vía de acceso al xilema es a través de las células de paso, mientras que, en las plantas calcífugas se produce acumulación en la endodermis que impide el paso del Ca^{++} al cilindro vascular, lo que explica las diferencias de concentración de Ca^{++} que se producen en la parte aérea entre estos dos tipos de plantas. Buddulph (1967), Läubli (1967), Clarkson y col. (1968, 1971), Steudle y col. (1978).

Localización de hierro

Recientemente De Felipe y Vivo (1982, 1983) han utilizado el método convencional para la fijación de los tejidos en la localización del Fe^{+++} en cotiledones de semillas de *Pisum sativum*, realizando la deshidratación con acetona que contenía cribas moleculares activadas (tipo 3A, Unión Carbide) a 2° C. La congelación previa a 103° K (-170° C) usando una mezcla frigorífica de metilciclohexano - isopentano, enfriada con N líquido, no preservó el tejido convenientemente. La localización del Fe^{+++} "in situ" se realizó por precipitación con ferrocianuro potásico. El Fe^{+++} se acumula principalmente en los amiloplastos, paredes celulares y espacios intercelulares. Botha y col. (1982) determinaron la distribución de Fe^{++} por precipitación en forma de azul de Prusia, entre los vasos conductores y el mesófilo de la hoja, observando la formación de una barrera en las paredes radiales y tangencial externa de las células de la vaina del haz que impide la difusión apoplástica del hierro y posiblemente también impide o restringe el paso del agua en la interfase mesófilo-vaina del haz.

Distribución del Manganeso

Memon y col. (1980), estudiaron la distribución del manganeso en plantas de *Acantopanax sciandophylloides* (L.) que se caracteriza por la alta concentración que alcanza en las hojas, 4633 p.p.m. El estudio lo realizaron en cortes de tejidos congelados con N líquido, introducidos en una criocámara de un microscopio de barrido a 123° K (-150° C). La distribución del manganeso se siguió con un microanalizador de rayos-X. El elemento se distribuye preferentemente en el ápice de la hoja por un proceso de transporte producido por la transpiración; en el resto de la hoja, la distribución sigue el siguiente orden de concentraciones decrecientes: paredes de las células de la epidermis, del haz y envés, células del mesófilo, células de empalizada, parénquima esponjoso y en menor cantidad en las células de la vaina y tejido vascular. En el peciolo, el orden de distribución de la concentración es: epidermis, colénquima y células de la vaina y muy escasamente en los vasos. En las raíces, no parece haber zonas de concentración preferente como se ha

puesto de manifiesto en raíces de pino, algodón, cacahuete. El hecho de ser el manganeso un elemento que no es traslocado en la planta, que se encuentra fijo en las paredes de las células, hace que esté alejado de los lugares activos de los procesos metabólicos y no se produzcan efectos tóxicos a pesar de la alta concentración de manganeso en las hojas. En plantas con síntomas característicos de toxicidad de manganeso, se produce incremento de la concentración del elemento en la zona dañada del tejido.

Distribución de Si en hojas y raíces de plantas

El Si no es un elemento esencial para el desarrollo de las plantas, si se exceptúan los *Equisetum*, sin embargo se encuentra en todas las plantas y tiene una función similar a la lignina en cuanto a mantener erecta la parte aérea de las plantas, proteger las partes blandas contra agentes patógenos y predadores, y prevenir una excesiva pérdida de agua a través de la epidermis. Resulta de interés conocer su distribución, forma en que se encuentra acumulado, excreción, absorción y efecto competitivo que puede ejercer sobre los elementos esenciales. Los trabajos realizados por Laroche (1967), Kaufman y col. (1969, 1971), Soni y col. (1972) y Parry y col. (1972), utilizaron el EPMA para conocer la distribución del Si en el interior de las plantas. Las muestras fueron introducidas en N líquido y liofilizadas a 273° K (0° C). Parry y col. (1972) encontraron que el Si se acumula en las raíces de las plantas de arroz en las células de la endodermis, principalmente en la pared tangencial interna. Bennet y Sangster (1981) estudiando raíces de plantas de bambú, incluidas en gelatina al 15% y cortes liofilizados de 20 μ m obtenidos a 253° K (-20° C), encuentran que la sílice se distribuye en cantidades muy similares en la pared tangencial interna y externa de la endodermis y en menor cantidad en la pared radial. En un trabajo posterior encuentran que la sílice en raíces de maíz, se localiza en las células de la epidermis y esclerénquima, no encontrándose en regiones más internas. En raíces de avena, trigo y cebada, la sílice se encuentra en los vasos conductores del floema y metaxilema. La movilidad del Si en las células del cilindro cortical parece estar controlada por características filogenéticas.

Kaufman y col. (1971), Dengler y Lin Eric (1980) estudiaron la distribución del Si en la parte aérea de diferentes plantas. El Si se deposita primeramente en las células como gel de $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ y posteriormente pasa a ópalo, Laroche (1968). En plantas de *Equisetum arvense* la sílice se distribuye sobre las células de la epidermis y en los estomas. En las células de guarda se producen acumulaciones en forma de rosetas, que pueden alcanzar hasta un 97% de sílice.

Las células del envés de las hojas, tienen concentraciones superiores a las que se encuentran en el haz. El contenido de elementos esenciales en las células acumuladoras de sílice, es menor que en las otras células, salvo en magnesio que se encuentra en igual cantidad.

Distribución de aluminio en plantas

El Al es un elemento muy abundante en el suelo como constituyente de la estructura de los silicatos y óxidos de aluminio. Su solubilidad es función de la acidez del suelo y del contenido en materia orgánica y tiene la particularidad de ser un elemento tóxico para las plantas.

Rasmussen, (1968) y Rasmussen y col. (1968) aplicaron el EPMA al estudio de la distribución de Al en raíces de *Zea mays*, estudiando muestras incluidas en parafina y seccionadas por microtomía. En la región de la cofia de la raíz, encontró que la distribución del Al es relativamente uniforme y muy poca cantidad se encuentra en la epidermis. En las muestras incluidas en parafina se produce acumulación de Al en las células externas de la cofia, debido a un proceso de lavado como consecuencia de una mayor cantidad de manipulaciones. En la región comprendida entre la cofia y la formación de raíces laterales, la acumulación de Al se produce en las células de la epidermis. En la región de formación de raíces laterales, al romperse las células de la epidermis y salir la raicillas laterales al exterior, se produce el paso del Al hacia el interior del cilindro vascular, a través del espacio comprendido entre el cilindro cortical de la raíz madre y la epidermis de la raíz secundaria. Al alcanzar el Al el cilindro vascular, se inicia la movilización hacia la región apical de la raicilla secundaria o hacia la parte aérea de la planta. El oscilógrama de la distribución de Al, es similar a la distribución del P for formarse fosfato de aluminio insoluble, que impide la movilización del P hacia la parte aérea y origina la sintomatología de deficiencia en P en las hojas de maíz. Las observaciones *de visu* pueden conducir a una errónea interpretación de la sintomatología de deficiencias de nutrientes en la planta, al considerar que está producida por deficiencia de P en el suelo cuando se debe a condiciones de toxicidad producidas por Al.

Weisel y col. (1970), estudiaron la distribución del Al en raíces de judías y de cebada, en muestras tomadas a 2 cm del ápice, encontraron que tenía una distribución similar a la del N produciéndose acumulación en forma móvil en el citoplasma de las células de la corteza. El S y el P no tienen una distribución específica, mientras el Ca se acumula en las paredes celulares. La diferencia de resultados obtenidos con los de Rasmussen (1968), puede ser motivada por diferencias del pH del medio de crecimiento, 3,5 en el trabajo de Rasmussen y 9,5 en el de Weisel o a las distintas condiciones de fijación y manipulación de los tejidos.

La distribución del Al en la parte aérea de plantas, con elevada capacidad de retención en sus tejidos, ha sido estudiada por Memon y col. (1981). El Al se concentra principalmente en las células de la epidermis y células del parénquima en empalizada del haz de las hojas viejas. El contenido en Al está estimulado por el Mn, que en las hojas tiene una distribución distinta a la del Al. El Ca y el Mg disminuyen su concentración. La resistencia a la toxicidad que presentan las plantas de te, se debe a que las paredes celulares de la epidermis y del parénquima lo retienen fuertemente.

LOCALIZACION DE SUSTANCIAS ORGANICAS

Enzimas

La aplicación del microanálisis de rayos-X a la localización de enzimas en los tejidos celulares, permite ampliar el número de reactivos químicos que pueden utilizarse. Las reacciones enzimáticas que son de aplicación en la microscopía electrónica de transmisión, están condicionadas a la formación de compuestos insolubles, que sean opacos al haz de electrones. Sin embargo, la introducción del microanálisis de rayos-X permite detectar elementos utilizando la técnica de dispersión de energía a partir del elemento Na, número atómico 11, con lo que el factor limitante para la caracterización del enzima se reduce a la especificidad de la reacción y a la estabilidad y alta insolubilidad del producto formado.

La ultramicrotomía ha abierto muchas posibilidades a la localización de un gran número de enzimas, Läuchli (1966), Bauer y Sigarlakie (1973), han localizado fosfatasa ácida y alcalina en secciones ultracongeladas de células de levadura, pudiendo los tejidos ser incubados antes de la congelación y seccionamiento, o después del seccionamiento.

La posibilidad de detección de elementos no opacos a los electrones, ha permitido el desarrollo de una técnica basada en la formación de colorantes azóicos en conjunción con la crioultramicrotomía, para la localización de fosfatasa ácida. En este método, el producto de reacción primario insoluble liberado, naftol ASTR, es acoplado con un diazotato activo de 2,5 dicloroanilina. El colorante azóico resultante, que contiene tres átomos de cloro covalente unidos, puede ser detectado en secciones ultrafinas congeladas (Bowen y col., 1977).

La misma reacción puede aplicarse a secciones obtenidas por criotato a nivel de microscopio óptico. El colorante azóico rojo producido, es muy fino dando lugar a una buena localización del enzima. Bowen y col. (1976) modificaron el método utilizando bromo en lugar de cloro.

Localización de fitina

Recientemente Greenwood y Bewley (1984), estudiaron la formación y distribución citoplasmática de la fitina, que da origen a la formación de globoides. Estudiaron el endospermo de semillas de *Ricinus communis* (L.) fijadas por métodos químicos, sin utilizar tetróxido de osmio, para evitar el desplazamiento de iones metálicos, Lott y col. (1978). La constancia del espectro de dispersión de energía de rayos-X, integrado por Ca, P y Mg permitió seguir la movilización y transformación de la fitina, sal (K, Mg, Ca) del ácido inositol hexafosfórico, concluyendo que se sintetiza en las vesículas del RE y después de fundirse con la membrana externa de los cuerpos proteícos, pasa a su interior y se condensa para formar los globoides.

BIBLIOGRAFIA

- APPLETON, T. C. 1972. Dry ultrathin frozen sections for electron microscopy and X-ray microanalysis; the cryostat approach, *Micron*, 3, 81.
- APPLETON, T. C. 1974. A cryostat approach to ultrathin dry frozen sections for electron microscopy: a morphological and X-ray analytical study, *J. of Microscopy*, 100, 49-74.
- APPLETON, T. C. 1977. The use of ultrathin frozen sections for X-ray microanalysis of diffusible elements. In *Analytical and Quantitative Methods in Microscopy*, Ed. Meek and Elder, H. J. 247-268.
- BAKER, J. R. J., APPLETON, T. C. 1976. A technique for electron microscopy autoradiography (and X-ray microanalysis) of diffusible substances using freeze dried fresh frozen sections, *J. of Microscopy*, 108, 307-315.
- BAUER, H. and SIGARLAKIE, E. 1973. Cytochemistry on ultrathin frozen sections of yeast cells. Localization of acid and alkaline phosphatase. *J. Microscopy*, 99, 205.
- BENNETT, D. M. and SANGSTER, A. G. 1981. The distribution of silicon in the adventitious roots of the bamboo, *Sasa palmata*. *Can. J. Bot.*, 59, 1680-1684.
- BENNETT, D. M. and SANGSTER, A. G. 1982. Electron-probe microanalysis of the silicon in the adventitious roots and terminal internode of the culm of *Zea mays*. *Can. J. Bot.*, 60, 2024-2031.
- BIDDULPH, S. F. 1967. A microautoradiographic studies of Ca^{45} and S^{35} distribution in the intact bean root. *Planta*, 74, 350-367.
- BIELESKI, R. L. 1966. Sites of accumulation in excised phloem and vascular tissue. *Plant. Physiol. Lancaster* 41, 455.
- BOTHA, C. E. J., EVERT, R. F., CROSS, R. H. M. and MARSHALL, D. M. 1982. The suberin lamella, a possible barrier to water movement from the veins to the mesophyll of *Temeda triandra*, Forsk. *Protoplasma*, 112, 1-8.
- BOWEN, I. D., RYDER, T. A. and DOWNING, N. L. 1976. An X-ray microanalytical azo dye technique for the localization of acid phosphatase activity. *Histochemistry*, 49, 43-50.
- BOWEN, I. D. and RYDER, T. A. 1977. The application of X-ray Microanalysis to enzyme cytochemistry. In: *Electron Microscopy of Enzymes. Principles and Methods*, Ed. M. A. Hayat, Vol. n.º 5, 187-207.
- BRAATZ, R. and KOMNICK, H. 1973. Vacuolar calcium segregation in relaxed myxomycete protoplasm as revealed by combined electrolyte histochemistry and energy dispersive analysis of X-rays. *Cytobiologie*, 8, 158-163.
- CASTAING, R. 1951. Application des sondes electroniques a un methode d'analyse ponctuelle chimique et cristallographique. *These science. Paris*.
- CESCAS, M. P., TYNER, E. H. and GRAY, L. J. 1968. The electron microprobe X-ray analyzer and its use in soil investigations, *Adv. Agron.*, 20, 153-198.
- CLARK, M. A. and ACKERMAN, G. A. 1971. A histochemical evaluation of the pyroantimonate-osmium reaction. *J. Histochem. Cytochem.*, 19, 727-737.
- CLARKSON, D. T., SANDERSON, J. and RUSSELL, R. S. 1968. Ion uptake and root age, *Nature*, 23, 805-806.
- CLARKSON, D. T., ROBARDS, A. W. and SANDERSON, J. 1971. The tertiary endodermis in barley roots: fine structure in relation to radial transport of ions and water. *Planta*, 96, 292-305.
- COSTELLO, M. J. and CORLESS, J. M. 1978. The direct measurement of temperature changes within freeze fracture specimens during rapid quenching in liquid coolants. *Low temperature Biological Microscopy and Microanalysis*, Edt. The Royal Microscopical Society, 35-55.
- COULOMB, P. and COULOMB, C. 1972. Localization cytochimique ultrastructurale d'une adenosine triphosphatase Mg^{2+} dependante dans les cellules de meristemes radiculaires de la courge *Cucurbita pepo* L. *C. R. Acad. Sci. D* 275, 1035-1028.
- CHANDLER, J. A. 1976. A method for preparing absolute standards for quantitative calibration and measurement of biological ultrathin specimens in EMMA. *J. Microsc.* 106, 291-302.
- CHANDLER, J. A. 1979. Principles of X-ray microanalysis in biology. *Scanning Electron Mi-*

- crosc. II, 595-606 and in Basic Methods in Biological X-ray microanalysis SEM Inc. AMF O'Hare IL, 1983, 1-12
- CHINO, M. 1979. Ca and K localization within plant root by Electron probe X-ray microanalysis. *Comm. Soil. Sci. Plant Analysis*, 10: 1-2; 443-457.
- DE FELIPE, M. R. and POZUELO, J. M. 1979. Acid phosphatase localization at the surface of young corn roots. *Agrochimica*, XXIII, n.º 2, 143-151.
- DE FELIPE, M. R. and VIVO, A. 1982. Influencia de los pretratamientos con diferentes sales de hierro en la germinación de semillas de guisante *Pisum sativum* L. Localización histoquímica y microanalítica de hierro. *An. Edaf. y Agrobiol.*, XLI, n.º 5-6; 973-980.
- DE FELIPE, M. R. and VIVO, A. 1983. Histochemical and microanalytical location of iron salts in pea seeds (*Pisum sativum*, L.) *Cell and Mol. Biology* 29, 4; 311-313.
- DENGLER, N. G. and LIN ERIC, Y. C. 1980. Electron probe microanalysis of the distribution of Si in the leaves of *Seleginella ummeliana*. *Can. J. Bot.* 58, 23; 2459-2466.
- ECHLIN, P. 1971. The examination of biological material at low temperatures. In: *Proc. of the 4th scanning electron microscope. Symposium*, 225-232.
- ECHLIN, P. 1978. Low temperature scanning electron microscope; a review. In: *Low temperature biological microscopy and microanalysis. Royal Microscopical Society*, 142-156.
- ECHLIN, P. 1979. Low temperature Scanning Electron Microscopy and X-ray microanalysis of biological material. *Microscopie*, 35; 45-49.
- ECHLIN, P. and BURGESS, A. 1977. Cryofracturing and low temperature scanning electron microscopy of plant material. *Proc. 10th Annual IITRI-SEM Symp.* 1, 491-499.
- ECHLIN, P., LAI, C. E. and HAYES, T. L. 1982. Low temperature X-ray microanalysis of the differentiating vascular tissue in roots tips of *Lemna minor* L. *J. Microsc.* 126, 3, 285-306.
- ECHLIN, P. and MORETON, R. 1974. In: *Microprobe Analysis as Applied to Cells and Tissues* Hall, T. A., Echlin, P. and Kaufmann, R. Ed. Academic Press, New York. 159-174.
- ENGSTRÖM, A. 1953. X-ray methods in histochemistry. *Physiol. Rev.* 33, 190-201.
- FAVALI, M. A., BARBIERI, N. BIANCHI, A., BONECHI, R. and CONTI, M. 1980. X-ray microanalysis of leaf tumors from maize plants experimentally infected with maize rough dwarf virus; scanning and transmission electron microscopic study. *Virology*, 103; 357-368.
- FISHER, D. B. 1972. Artefacts in the embedment of water soluble compounds for light microscopy. *Plant Physiol.*, 49, 161-165.
- FISHER, D. B. and HOUSLEY, T. L. 1972. The retention of water-soluble compounds during freeze substitution and micro-autoradiography. *Plant. Physiol.* 49, 166-171.
- FISCHER, R. A. 1968. Stomatal opening; Role of potassium uptake by guard cells. *Science*, 160, 784-785.
- FRANKS, R., ASQUIT, M. H., HAMMOND, C. C., LEB SKAER, H. and ECHLIN, P. 1977. Polymeric cryoprotectants in the preservation of biological ultrastructure I. Low temperature states of aqueous solutions of hydrophilic polymers. *J. Microsc.* 110; 223-238.
- FUJINO, M. 1967. Citado por Van Steveninck en: *Electron microscopy and Cytochemistry of Plant Cells*. Edt. J. L. Hall. Elsevier. North Holland, 1978. 211.
- GALLAHER, R. N. 1973. Electron probe microanalysis of soil and plants. *Diss. Abstract Intern.* 34, 7; 3045-3046.
- GALLAHER, R. N. and PERKINS, H. F. 1973. An electron probe microanalysis method for studying the soil-root interface. *Bulletin of the Georgia Academy of Science*, 31; 45-50.
- GARDFIELD, R. E., HENDERSON, R. M. and DANIEL, E. E. 1972. Evaluation of pyroantimonate technique for the localization of tissues sodium. *Tissue Cell*, 4, 575-589.
- GREENWOOD, J. S. and DEREK BEWLWY, J. 1984. Subcellular distribution of phytin in the endosperm of developing castor bean; a possibility for its synthesis in the cytoplasm prior to the deposition within protein bodies. *Planta*, 160, 113-120.
- HAGLER, H. K., LOPEZ, L. E., FLORES, J. S., LUNDSWICK, R. J. and BUJA, L. M. 1983. Standards for quantitative energy dispersive X-ray microanalysis of biological cryosections validation and application to studies of myocardium. *J. Microsc.* 125, 2, 221-234.
- HALL, J. L. 1969. Localization of cell surface adenosine triphosphatase activity in maize roots. *Planta*, 89, 254-265.
- HALL, J. L. 1970. Pinocytotic vesicles and ion transport in plant cells. *Nature (London)* 226, 1253-1254.

- HALL, J. L. 1971. Cytochemical localization of ATP-ase activity in plant root cells. *J. Microsc.* (Oxf) 93; 219-226.
- HALL, J. L. 1973. Enzyme localization and ion transport, in: Ion transport in plants, Ed. W. P. Anderson, Academic Press, London and New York; 11-24.
- HALL, T. A. and HOLING, H. J. 1969. The application of microprobe analysis to biology in: X-ray optics and microanalysis, Eds. G. Mollenstadt and K. H. Gaukler, Springer, New York, 582.
- HALL, T. A. 1971. The microprobe assay of chemical elements. In: Physical techniques in biological research, Ed. Oster, G. 2nd Edition, New York, London, Academic Press, Vol 1, A. 157-275.
- HALL, T. A. 1972. X-ray microanalysis in biology: quantitation. *Micron*, 3, 93-97.
- HALL, T. A. and PETERS, P. D. 1974. In: Microprobe Analysis as applied to cells and tissues, Eds. Hall, T. A., Echlin, P. and Kauffmann, R. Academic Press, New York; 229-237.
- HARVEY, D. M. R. 1982. Freeze substitution. *J. Microsc.*, 127, 2; 209-221.
- HARVEY, D. M. R., FLOWERS, T. J. and HALL, J. L. 1976 a. Localization of chloride in leaf cells of the halophyte *Suaeda maritima* by silver precipitation. *New Phytol*, 77; 319-23.
- HARVEY, D. M. R., HALL, J. L. and FLOWERS, T. J. 1976 b. The use of freeze substitution in the preparation of plant tissues for ion localization studies. *J. Microsc*, 107; 189-198.
- HARVEY, D. M. R., HALL, J. L. and FLOWERS, T. J. 1980 a. Ion localization in freeze substitution halophyte leaf tissues in plant membrane transport: Current conceptual tissues, Eds. R. M. Spanswick, W. J. Lucas, J. Dainty, Elsevier North Holland, 493-494.
- HARVEY, D. M. R., FLOWERS, J. T., HALL, J. L. and SPURR, A. R. 1980 b. The preparation calibration standards sodium, potassium and chlorine analyses by analytical electron microscopy. *J. Microsc*, 118; 2, 143-152.
- HARVEY, M. R., HALL, J. L., FLOWERS, T. J. and KENT, B. 1981. Quantitative ion localization within *Suaeda maritima* leaf mesophyll cells. *Planta* 151; 555-560.
- HUMBLE, G. D. and HSIAO, T. C. 1969. Specific requirement of potassium for light activated opening of stomata in epidermal strips. *Plan Physiol*, 44; 230-234.
- HUMBLE, G. D. and RASCHKE, K. 1971. Stomatal opening quantitatively related to potassium transport: evidence from electron probe analysis. *Plant Physiol*, 48; 447-451.
- KAUFMAN, P. L., BIGELOW, W. C., PETERING, L. B. and DROGOSZ, F. B. 1969. Si in developing epidermal cells of *Avena* internodes: Electron Microprobe Analysis. *Science*, 166; 1015-1017.
- KAUFMAN, P. B., BIGELOW, W. C., SCHMID, R. and GHOSHED, N. Q. 1971. Electron microprobe analysis of Silica in epidermal cells of *Equisetum*. *An. J. Bot.*, 58 (4), 309-316.
- KLEIN, R. L., YEN, S. S. and THURESON-KLEIN, A. 1972. Critique on the K-pyrocantimonate method for semiquantitative estimation of cations in conjunction with electron microscopy. *J. Histochem. Cytochem*, 20; 65-78.
- KOMNICK, H. 1962. Lokalisation von Na^+ und Cl^- in Zellen und Geweben. *Protoplasma*, 55; 414-418.
- KOMNICK, H. and KOMNICK, U. 1963. Elektronenmikroskopische Untersuchungen zur funktionellen Morphologie des Ionentransports in der Salzdrüse von *Larus argentatus*. V. Teil: Experimenteller Nachweis der Transportwege. *Z. Zellforsch* 60; 163-203.
- KRONENSTEDT, E. and ECHLIN, P. 1982. Preparing the liverwort "*Ricciocarpus natans*" for scanning electron microscopy. *J. Microsc*, 128, 2; 207-209.
- LAROCHE, J. 1967. Localisation de la silice par le microanalyseur à sonde électronique C. R. Acad. Sci. Paris, 265; 1695-1697.
- LAUCHLI, A. 1966. Cryostat technique for fresh plant tissues and its application in enzyme histochemistry. *Planta*, 70; 13-25.
- LAUCHLI, A. 1967. Untersuchungen über Verteilung und Transport von Ionen in pflanzengewebe mit der Röntgen-Mikrosonde. *Planta*, 75; 185-206.
- LAUCHLI, A. 1968. Untersuchungen mit der Röntgen-Mikrosonde über Verteilung und Transport von Ionen in Pflanzengewebe. II. Ionentransport nach den Früchten von *Pisum sativum*. *Planta*, 83; 137-149.
- LAUCHLI, A. 1968. Untersuchung des Stofftransports in der Pflanze mit der Röntgen-Mikrosonde. *Vrtr. Gesamtgeb Bot. N. F.* 2; 58-65.

- LAUCHLI, A. 1972. Electron probe analysis. In: *Microautoradiography and Electron probe analysis*. Ed. U. Lüttge. Springer, Berlin, 191-236.
- LAUCHLI, A. 1975. X-Ray-Microanalysis in Botany. *J. Microsc. Biol. Cell.* 22, 2-3; 433-439.
- LAUCHLI, A., KRAMER, D. and STELZER, R. 1974. In: *Membrane Transport in Plants and Organelles* Eds. Zimmermann U. and Dainty J. 363-371.
- LAUCHLI, A. and SCHWANDER, H. 1966. X-ray microanalyzer study on the localization of minerals in native plants tissue sections. *Experientia*, 22, 503-505.
- LAUCHLI, A., SUPURR, A. R. and WITTKOP, R. V. 1970. Electron probe analysis of freeze substituted, epoxy resin embedded tissue for ion transport studies in plants. *Planta*, 95, 341-350.
- LEVERING, C. A. and THOMPSON, W. W. 1972. Studies on the ultrastructure and mechanism of secretion of the salt gland of the grass spartina. *Proc. 30th. Ann. Meeting. EMSA.*
- LIBANATI, C. M. and TANDLER, C. J. 1969. The distribution of the water-soluble inorganic orthophosphate ions within the cell: accumulation in the nucleus. *J. Cell. Bio.*, 42, 754-765.
- LOTT, J. N. A., GREENWOOD, J. S. and VOLLMER, C. M. 1978. An energy dispersive X-ray analysis of elemental loss from globoid crystals in protein bodies as a result of osmium tetroxide fixation. *Can. J. Bot.*, 56, 2408-2414.
- LUKE, K. E., HESS, W. M. and SMITH, B. N. 1981. Effects of mineral deficiencies upon fungus infected plants: energy dispersive X-ray microanalysis of antimony precipitation products in *Cucurbita pepo* infected by *Sclerotinia sclerotiorum*. *J. Plant Nutrition*, 3, (1-4), 93-111.
- LUTTGE, U. 1972. In: *Microautoradiography and Electron Probe Analysis. Their application to Plant Physiology*. Ed. U. Lüttge. Springer, Verlag, 61-98.
- MARKHART, III A. H. and LAUCHLI, A. 1982. The comparison of three freezing methods for Electron probe X-ray microanalysis of hydrated barley roots tissues. *Plant Sci. Letter*, 25, 1, 29-36.
- MARSCHALL, A. T. 1975. X-ray microanalysis of frozen hydrated biological specimens: the effect of charging. *Micron*, 5, 275-280.
- MEMON, A. R., CHINO, M., TAKEOKA, Y., HARA, K. and YATAZAWA, M. 1980. Distribution of manganese in leaf tissues of manganese accumulator: *Acanthopanax sciadophylloides* as revealed by electron probe X-ray microanalyzer. *J. Plant. Nutri.*, 2, 4, 457-476, y en *J. Microscopie Biol. Cell*, 1975, 22; 287-302.
- MEMON, A. R., CHINO, M., TAKEOKA, Y., HARA, K. and YATAZAWA, M. 1980. Electron probe X-ray microanalysis of hydrated barley root tissue. *Plant Sci. Letter*, 25, 1, 29-36.
- MEMON, A. R., CHINO, M. and YATAZAWA, M. 1981. Microdistribution of aluminium and manganese in the leaf tissues as revealed by X-ray microanalyzer. *Commun. in Soil Sci. Plant Anal.*, 12, 5, 441-452.
- MORETON, R. B., ECHLIN, P., GUPTA, B. L., HALL, T. A. and WEIS-FOGH, T. 1974. Preparation of frozen hydrated tissues sections for X-ray microanalysis in the scanning electron microscope. *Nature*, 247, January 113-115.
- NEI, T. 1976. Review of the freezing techniques and their theories. En *Recent progress in electron microscopy of cell and tissues*. Edt. E. Yamada y colaboradores. Publishers Stuttgart 213-242.
- NEWMANN, D. and JANOSSY, A. G. S. 1980. Action of gibberellic acid in a dwarf maize mutant: an X-ray microanalysis study. *J. Microsc.* 120, 1, 73-84.
- NEWMANN, D. and A. G. S. JANOSSY. 1981. The role of potassium in the vacuolization of plastids. An electron microanalysis study. *Physiol. plant*, 52, 320-324.
- PALLAGHY, C. K. 1973. Electron probe microanalysis of potassium and chloride in freeze-substituted leaf sections of *Zea mays*. *Aust. Jour. of Biol. Sciences*, 26, 5, 1015-1034.
- PARRY, D. W., and SONI, S. L. 1972. Electron probe microanalysis of silicon in the roots of *Oryza sativa* L. *Ann. Bot.* 36; 781-783.
- PARSONS, E., BOLE, B. HALL, D. J. and THOMAS, W. D. E. 1974. A comparative survey of techniques for preparing plant surfaces for the scanning electron microscope. *J. Microsc.* 101, 1; 59-75.

- PITMAN, M. G., LAUCHLI, A. and STELZER, R. 1981. Ion distribution in roots of barley seedlings measured by electron probe X-ray microanalysis. *Plant Physiol*, 68; 673-679.
- POUX, N. 1967. Localisation d'activités enzymatiques dans les cellules du meristème racinaire de *Cucumis sativus* L. I. Activités phosphatases neutres dans protoderme. *J. Microscopie*, 6, 1043-1058.
- POZUELO, J. M. DE FELIPE, M. R. 1978. Cytological localization in roots of silver absorbed by corn plants. Federation of European Societies of Plant Physiology. Inaugural Meeting. Edimburg. 1978. 424-425.
- RASMUSSEN, H. P. 1968. Entry and Distribution of Al in *Zea mays*. The mode of Entry and Distribution of Al in *Zea mays*: Electron microprobe X-ray analysis. *Planta*, 81; 28-37.
- RASMUSSEN, H. P., SHULL, V. E., and DRYER, H. T. 1968. Determination of element localization in plant tissue with Microprobe. Develop. In Apple. *Spectrosc*, 6; 29-42.
- RODRIGUEZ GARCIA, M. I. and STOCKERT, J. C. 1971. Localization of the pyroantimonate-osmium reaction product in plant cell nucleoli. *J. Ultrastruc. Res*, 67; 65-72.
- ROMATI, A., and LIPHSCHITZ, N. 1975. Preparation of plant material for microautoradiography and Electron probe microanalysis: the xylene technique. *Experientia*, 31; 1108.
- ROMATI, A., LIPHSCHITZ, N. and WAISEL, Y. 1976. Ion localization and salt secretion in *Sporobolus arenarius* (Gou). *Duv-Jouv. New Phytol*, 76; 289-294.
- ROOMANS, G. M. and SEVEUS, L. A. 1977. Preparation of thin cryosectioned standards for quantitative microprobe analysis. *J. Submic. Cytol.*, 9; 31-35.
- ROOMANS, G. M. 1979. Standards for X-ray microanalysis of biological specimens. *Scanning Electron Microsc II*, 649-658.
- ROSS, G. D., MORRISON, G. H., SACHER, R. F. and STAPLES, R. C. 1983. Freeze substitution sample preparation for ion microscopy of plant tissue. *Microsc*, 129; 221-228.
- SARVJIT, L. SONI, S. L., KAUFMAN, P. B. and BIGELOW, W. C. 1972. Electron probe analysis of silicon and other elements in leaf epidermal cells of the rice plant *Oryza sativa* L. *Am. J. Bot.* 59, (1), 38-42.
- SAUBERMAN, A. J. and ECHLIN, P. 1976. The preparation, examination and analysis of frozen hydrated sections by scanning transmission electron microscopy and X-ray microanalysis. *J. Microsc.*, 105; 155-191.
- SCHEIE, P., DALEN, H., SAETERSDAL, T. and MYKLEBUST, R. 1982. Freezing patterns in quench frozen, freeze-dried polyvinylpyrrolidone (PVP). *J. Microsc*, 126, 3; 237-242.
- SKAER, H. 1982. Chemical cryoprotection for structural studies. *J. Microsc*, 125, 2, 137-147.
- SKAER, M. le B., FRANKS, F., ASQUITH, M. H. and ECHLIN, P. 1977. Polymeric cryoprotectants in the preservation of biological ultrastructure. III. Morphological aspects. *J. Microsc.*, 110; 251-270.
- SIMSON, J. A. V., BANK, L., and SPICER, S. S. 1979. X-ray microanalysis of pyroantimonate precipitable cations. *Scanning Electron Microsc*, II, 2: 779-792.
- SONI, S. L., KAUFMAN, P. B., and WIGELOW, W. C. 1972. Electron probe analysis of Si and other elements in leaf epidermal cells of the rice plant *Oryza sativa* L. *Am. J. Bot.* 59, 1; 38-42.
- SPURR, A. R. 1972. Freeze-substitution additives for sodium and calcium retention in cells studied by X-ray analytical electron microscopy. *Bot. Gaz*, 133; 263-270.
- SPURR, A. R. 1974. Macrocyclic polyeter complexes with alkali elements in epoxy resin as standards for X-ray analysis of biological tissues, in: *Microprobe analysis as applied to cells and tissues*, T. Hall, P. Echlin and R. Kaufman eds, Academic Press, London.
- SPURR, A. R. 1975. Choice and preparation of standards for X-ray microanalysis of biological materials with special reference to macrocyclic polyeter complexes, in: *Biological microanalysis*, P. Echlin and P. Galle, eds. Soc. Francaise de Microscopie Electronique Paris, 287.
- SPURR, A. R. 1980. Applications of X-ray microanalysis in Botany. *Scanning Electron Microsc*, 2, 535-564.
- STELZER, R. 1981. Ion localization in leaves of *Puccinellia peisonis*. *Z. Pflanzenphysiol*, 103; 27-36.

- STELZER, R., LAUCHLI, A. and KRAMER, D. 1975. Interzellulare transportwege des chlorids in Wurzeln intakter Gerstepflanzen. *Cytobiologie* 10, 449-457.
- STELZER, R., LAUCHLI, A. and KRAMER, D. 1978. An improved precipitation technique for intracellular Cl⁻ localization in plant tissues by use of picric acid. *J. Exp. Bot.* 29; 729-733.
- STEUDLE, E., LAUCHLI, A. and SIEVERS, A. 1978. X-ray microanalysis of barium and calcium in plant material: significance for the analysis of statoliths. *Z. Naturforsch C; Biosci.* 33, C, 5-6; 444-446.
- STOCKWELL, V. and HANCHEY, P. 1982. Cytohistochemical techniques for calcium localization and their application to diseased plants. *Plant Physiol.* 70; 244-251.
- STOREY, R., PITMAN, M. G., STELZER, R. and CARTER, C. 1983. X-ray microanalysis of cells and cell compartments of *Atriplex spongiosa*. I Leaves. *J. Exp. Botany.* 34; 778-794.
- STOREY, R., PITMAN, M. G. and STELZER, R. 1983. X-ray microanalysis of cells and cell compartments of *Atriplex spongiosa*. II. Roots. *J. Expe. Botany.* 34; 1196-1206.
- TAN, K.H., and QNo PARMORNODI. 1979. Electron microbeam scanning of elements distribution Zones in soil Rhigosfare and Plant tissues. *Soil Scie.* 127, 235-241.
- TANDLER, C. J., KIERSZENBAUM, A. L. 1971. Inorganic cations in rat kidney. Localization with potassium pyroantimonate perfusion fixation. *J. Cell. Biol.* 50; 830-839.
- TANDLER, C. J., LIBANATI, C.M. and SANCHIS, C.A. 1970. The intracellular localization of inorganic cations with potassium pyroantimonate. *J. Cell. Biol.*, 45; 355-366.
- TANDLER, C. J., RISUENO, M. E. and FERNANDEZ GOMEZ, M. E. 1973. Inorganic cations in *Allium cepa* roots. Intracellular localization. *Protoplasma*, 77; 201-210.
- TANDLER, C. J. and SOLARI, A. J. 1969. Nucleolar ortophosphate ions. *J. Cell. Biol.* 41; 91.
- TOKUYASU, K. T. 1973. A technique for ultracryotomy of cell suspension and tissues. *J. Cell. Biol.*, 57; 551-565.
- TOUSIMIS, A. J., BROOKS, E. J. and BIRKS, L. S. 1959. Possible biological applications of the electron Probe. In: X-ray Spectro chemical analysis L. S. Birks Ed. New York. Interscience Publ. 122-123.
- TRIP, P. and GORHAM, P. R. 1967. Autoradiographic study of the pathway of translocation. *Can. J. Bot.* 45; 1567-1573.
- TSUJI, S. 1980. A method for obtaining cryo-ultramicrotome sections of 35 nm thickness monitored by myofibrillar fine structure. *J. Microsc.* 120, 1; 113-116.
- VAN STEVENINCK, R. F. M., CHENOWETH, A. R. F. and VAN STEVENINCK, M. E. 1972. Ion transport in Plants. Anderson W. P., ed. Academic London. 25-37.
- VAN STEVENINCK, R. F. M., VAN STEVENINCK, M. E., HALL, T. A. and PETERS, P. D. 1974. A chlorine-free embedding medium for use in X-ray analytical electron microscope localization of chloride in biological tissues. *Histochemistry*, 38; 173-180.
- VAN STEVENINCK, R. F. M., BALLMENT, B., PETERS, P. D. y HALL, T. A. 1976. Ultrastructural localization of ions, II. X-ray analytical verification of silver precipitation products and distribution of chloride in mesophyll cells of barley seedlings. *Aust. Jour. of plant physiol.* 3; 359-365.
- VAN STEVENINCK, M. E., VAN STEVENINCK, R. F. M., PETERS, P. D. and HALL, T. A. 1976. X-ray microanalysis of antimonate precipitates in barley roots. *Protoplasma*, 90; 47-63.
- VAN STEVENINCK, R. F. M., VAN STEVENINCK, M. E. 1978. Ion localization, in: *Electron microscopy and Cytochemistry of plant cells* (Elsevier, North Holland) 187-234.
- VAN STEVENINCK, M. E., and VAN STEVENINCK, R. F. M. 1981. An X-ray microanalytical examination of precipitation methods for the ultrastructural localization of potassium in plant tissue, II Tetraphenyl boron. *J. Microsc.* 123; 1, 51-60.
- VAN STEVENINCK, M. E., VAN STEVENINCK, R. F. M. and C. J. MITTELHEUSER, C. J. 1981. An X-ray microanalytical examination of precipitation methods for the ultrastructural localization of potassium in plant tissue. I Cobaltinitrite. *J. Microsc.* 122; 3, 259-274.
- VAN ZYL J., FORREST, Q. R., HOCKING, C. and PALLAGY, C. K. 1976. Freeze substitution of plant and animal tissues for the localization of water-soluble compounds by electron Probe microanalysis. *Micron*, 7; 213-224.
- WASEL, Y., HOFFEN, A. and ESHEL, A. 1970. The localization of aluminum in the cortex cells of bean and barley roots by X-ray microanalysis. *Planta* 23; 75-79.

- WEAVERS, B. A. 1973. Combined transmission EMMA electron microscopy and X-ray microanalysis of ultrathin frozen sections. An investigation to determine the normal elemental composition of mammalian tissue. *J. Microsc. (Oxford)*, 97, 331-341.
- WILMER, C. M. and MANSFIELD, T. A. 1970. Further observation of cation-stimulated stomatal opening in isolated epidermis. *New Phytol.*, 69, 3, 639-645.
- WILSON, A. J. and ROBARDS, A. W. 1982. Some experiences in the use of a polymeric cryoprotectant in the freezing of plant tissue. *J. Microsc.*, 125, 3, 287-298.
- WINN, D., PARRY, V. and SONI, S. L. 1972. Electron-probe microanalysis of Si in the roots of *Oryza sativa* L. *Ann. Bot.*, 36, 781-783.
- YEO, A. R., KRAMER, D. and LAUCHLI, A. 1977. Ion distribution in salt-stressed mature *Zea mays* roots in relation to ultrastructure and retention of sodium. *J. Exper. Botany*, 28, 102, 17-29.
- ZARR, K., SCHNEPF, E. 1969. Membranfluss und Nucleoside-phosphatase-Reaktion in wurzelhaaren von *Lepidium sativum*. *Planta*, 88, 224-232.
- ZIEGLER, H. and LUTTGE, U. 1967. Die Salzdrüsen von *Limonium vulgare* II Mitteilung Die Lokalisierung des chlors. *Planta*, 74, 1-17.

LIBROS QUE CONTIENEN CAPITULOS DE INTERES SOBRE
LA PREPARACION Y APLICACION DE TECNICAS DE MICROANALISIS
DE RAYOS-X A TEJIDOS BIOLOGICOS

- BERTIN, E. P. Introduction to X-ray Spectrometric Analysis. Plenum Press, 1978. Contiene capítulos de aplicaciones y principios de la técnica de análisis por dispersión de energía.
- COLEMAN, J. R. and A. R. TEREPKA. 1974. Preparatory Methods for Electron Probe Analysis in Principles and Techniques of Electron Microscopy. Biological Applications. M. A. Hayat. Ed. vol 4. 159-207. Van Nostrand Reinold Company. New York.
- CHANDLER, J. A. 1978. X-ray microanalysis in the Electron Microscope. Practical Methods in Electron Microscopy. Audrey, M. Glauer. Ed. North-Holland.
- ERAMUS, D. A. 1978. Electron Probe microanalysis in Biology. Chapman and Hall. Eds. London. Contiene capítulos de interés sobre aplicación de microanálisis por dispersión de energía de rayos-X. Capítulo sobre histoquímica cuantitativa.
- GOLSTEIN, J. I., NEWBERRY, D. D., ECHLIN, P., JOY, D. C., FIORI, C. and LIFSHIN, E. 1981. Scanning Electron Microscopy and X-ray microanalysis. A text book for Biologist Material Scientist and Geologist Plenum Press. New York.
- HAYAT, M. A., ZIRKIN, B. R. 1973. Critical Point-driving methods in Principles and Techniques of Electron Microscopy Biological Applications. M. A. Hayat. Ed. vol. 3. 299-313. Van Nostrand Reinold Company. New York.
- HUTCHINSON, T. E. 1977. Energy dispersive X-ray microanalysis in Analytical and quantitative methods in microscopy. G. A. Meek and H. Y. Elder Ed. Cambridge University Press. Cambridge. 213-226.
- JENKINS, R., GOULD, R. W., GEDEKE, D. 1981. Quantitative X-ray Spectrometry. Marcel Dekken Inc. New York and Basel.
- KOEHLER, J. K. 1978. Advanced Techniques in Biological E. Microscopy. II Specific Ultrastructural Probes. Springer-Verlag Berlin. Contiene un capítulo de Echlin sobre Low-temperatura Biological Scanning.
- LUTTGE, U. 1972. Microautoradiography and Electron Probe Analysis. Their application to Plant Physiology. Springer-Verlag.
- MEEK, G. A., ELDER, H. Y. 1977. Analytical and Quantitative Methods in Microscopy. Society for Experimental Biology, Semina. Series 3. Cambridge. Univ. Press. Cambridge.
- ROOMANS, G. M., SHELBURNE, J. D. 1983. Basic methods in Biological X-ray Microanalysis Scanning Electron Microscopy Inc. AMF O'Hara IL USA. Abarca metodología de preparación de muestras, artefactos, métodos cuantitativos de X-ray microanálisis en Biología.

- ROYAL MICROSCOPICAL SOCIETY. Low Temperature Biological Microscopy and Microanalysis. Oxford. Comunicaciones sobre análisis cuantitativo aplicado a iones difusibles usando microanálisis de rayos X.
- RUSS, J. C. y PANESSA, B. J. 1972. Thin-section microanalysis in Proceedings of a Symposium. St. Louis. Missouri, Noviembre. EDAX Laboratory. Raleigh. North Carolina.
- SIMARD, R. 1976. Crioultramicrotomy in Principles and Techniques of Electron Microscopy. Biological Applications. M. A. Hayat. Vol 6 Pág. 290-311. Van Nostrand Reinhold Company. New York.
- WEAVERS, B. A. 1975. The analytical Electron Microscope, EMMA-4 in Principles and Techniques of Electron microscopy. Biological Application. M. A. Hayat. Ed. Vol 5. 174-244. Van Nostrand Reinhold Company. New York.
- YAMADA, E. 1976. Recent Progress in the Electron Microscopy of cells and tissues. E. Yamada. Ed. University Press Baltimore. Baltimore.
- JOURNAL DE MICROSCOPIE ET DE BIOLOGIE CELLULAIRE. 1975. Vol. 22, n. 2-3. Dedicado a procesamiento y estudio de microanálisis en tejidos biológicos.
- SCANNING ELECTRON MICROSCOPY. SEM Inc. AMF O'Hare. IL. 60666. U.S.A. Publicación Trimestral que contiene artículos interesantes sobre la aplicación de técnicas de microanálisis de Rayos-X a tejidos biológicos.
- S.E.M.E. Seminario de Introducción al Microanálisis en Microscopía Electrónica con Aplicación al campo Biológico. Edt. Sociedad Española de Microscopía Electrónica, Madrid. Abril. 1983.
- ROYAL MICROSCOPICAL SOCIETY. 1985. Proceedings. Resúmenes de trabajos presentados al 3rd International Low-temperature Biological Microscopy and X-Ray Microanalysis Meeting. Vol. 20 2; Marzo.P

Recibido para publicación: 2-VII-85.

LOS PLAGUICIDAS. ADSORCION Y EVOLUCION EN EL SUELO.
*M. J. Sánchez Martín y M. Sánchez Camazano. I. O. A. T. O.—
Excma. Diputación provincial de SALAMANCA. Temas Monográficos.*

El número 14 de la *Serie* estudia la problemática de los PLAGUICIDAS: la necesidad de su aplicación, sus inconvenientes y, con mayor enfoque científico, su naturaleza y la del proceso de su adsorción y evolución en el suelo, etc. Todo ello *en orden a* sentar bases racionales para su correcta utilización, salvaguardando el orden ecológico general.

La MONOGRAFIA, cuya temática es de indudable actualidad y pertenece a una *línea de Investigación* de los autores, es fruto del compromiso asumido por ellos, *en su día*, como tarea añadida a su afán profesional diario.

Con buena aceptación por los lectores, son ya seis los años que el CENTRO DE EDAFOLOGIA APLICADA, a través del I.O.A.T.O. y la EXCMA. DIPUTACION PROVINCIAL DE SALAMANCA, llevan colaborando en esta labor editorial, formativa, para ofrecernos un *reflejo* y una *prestación social* de su propia actividad científica.

ELEMENTOS SECUNDARIOS Y MICROELEMENTOS. Carencias y correctores. (Catálogo General). *por Calixto García García. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Dirección General de Producción Agraria.*

El presente trabajo es un inventario o catálogo de los productos existentes en el mercado, registrados en el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, cuyo fin es la corrección de carencias producidas en los vegetales por la ausencia de elementos secundarios y microelementos en el suelo.

Se ha seguido el orden normal en los elementos secundarios, es decir, azufre, magnesio, calcio, y a continuación los microelementos, boro, cobre, hierro, zinc, manganeso, molibdeno, cloro y cobalto.

Cada elemento secundario y microelemento lleva una somera explicación de su función fisiológica vegetal, así como de los síntomas externos que produce su carencia.

A continuación hay un apartado dedicado a los correctores de microelementos en general.

También se han incluido, en dos grupos, los correctores de suelos; en el primero los Correctores Orgánicos de Suelos, cuya misión es suministrar materia orgánica al mismo y actuar también como corrector de su estructura (corrector físico), aparte de aportar humus; y el segundo grupo, que aporta elementos minerales, realizando correcciones químicas tales como el pH, la salinidad, etc., y que por simplificar denominamos Correctores de Suelos. Además, hay un grupo que denominamos Combinación de Quelatos, que son compuestos que portan microelementos, pero no con riqueza suficiente para considerarse como correctores, y se utilizan para prevenir carencias, no para corregirlas.





Este servicio de información, pensado para Químicos, Ingenieros, Biólogos, Bioquímicos..., para todos los profesionales que cultivan cualquiera de las especialidades químicas, está basado en los "Chemical Abstracts", la fuente secundaria de información química más importante del mundo.

*El Servicio **SIQUIS** le proporcionará quincenalmente, mediante ordenador, listados personalizados de referencias bibliográficas de todos los trabajos que van apareciendo en los "Chemical Abstracts". La utilización del Servicio **SIQUIS** es muy sencilla: Vd. comunica al ICYT el tema de su interés y expertos muy cualificados elaboran un perfil de búsqueda bibliográfica **a su medida**; de esta forma Vd. no perderá su tiempo tratando de hallar penosamente la información que necesita a través de publicaciones secundarias.*

*Suscribase. Estará **mejor y más informado** que nunca.*



- Bioquímica.
- Química orgánica.
- Químico macromolecular
- Química aplicada e ingeniería química.
- Química física y química analítica.



- Suscripción anual a un perfil. 16.000 Pts. (primer trimestre gratuito).
- Suscripción de dos o más perfiles al año: descuento del 10% a partir del segunda.
- Organismos dependientes del Ministerio de Educación y Ciencia: descuento del 40%.



INSTITUTO DE INFORMACION
Y DOCUMENTACION EN CIENCIA
Y TECNOLOGIA

C/. Joaquín Costa, 22 - 28002 MADRID - Telf. (91) 261 48 08 - Telex 22628 CIDMD E

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. Deberán enviarse por duplicado.

2.^a *Título*.— El título de los trabajos deberá ser muy claro y preciso, reflejando su contenido. Seguidamente se indicará nombre y apellidos de los autores, Centro donde ha sido realizado y fecha de envío a la REVISTA. También se incluirá el título abreviado.

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 con su título. 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 éste 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. Población (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 mansera 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 el autor 25 separatas. A petición de éste —hecha constar por escrito en la cubierta del original— podrán servírsele, a su cargo, las que desee.

11. *Examen de manuscritos*.— Los trabajos, una vez recibidos, pasarán a la Comisión de Publicaciones para informe.

ANALES DE EDAFOLOGIA Y AGROBIOLOGIA

Publicados por el INSTITUTO NACIONAL DE EDAFOLOGIA Y AGROBIOLOGIA "JOSE M.^a Albareda", del Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

Integrado por los Centros:

Instituto de Edafología y Biología Vegetal. Madrid.	Instituto de Investigaciones Agrobiológicas de Galicia. Santiago de Compostela.
Centro de Investigaciones Agrícolas de Badajoz.	Centro de Edafología y Biología Aplicada de Salamanca.
Centro de Edafología y Biología Aplicada de Tenerife.	Departamento de Economía Agraria. Madrid.
Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura. Murcia.	Estación Experimental de Aula Dei. Zaragoza.
Centro de Edafología y Biología Aplicada del Cuarto. Sevilla.	Estación Experimental de Zonas Áridas. Almería.
Estación Experimental del Zaidín. Granada.	Instituto de Alimentación y Productividad Animal. Madrid.
Misión Biológica de Galicia. Pontevedra.	Estación Agrícola Experimental de León.
	Estación Experimental "La Mayora". Málaga.

Con la colaboración de los Organismos siguientes:

Instituto 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.

Cátedras de:

Edafología, Facultad de Farmacia. Universidad Complutense. Madrid; Edafología. Facultad de Farmacia. Universidad de Granada; Edafología. Facultad de Ciencias. Universidad Autónoma de Madrid; Edafología. Facultad de Farmacia. Universidad de Santiago de Compostela; Edafología. Facultad de Farmacia. Universidad de Barcelona; Edafología. Facultad de Farmacia. Universidad de Navarra; Geología, Facultad de Ciencias. Universidad de Murcia; Fisiología Vegetal. Facultad de Farmacia. Universidad de Santiago; Fisiología Vegetal. Facultad de Farmacia. Universidad de Granada; Ecología. Facultad de Ciencias. Universidad de Salamanca; Química Agrícola. Facultad de Ciencias. Universidad Autónoma de Madrid.

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. Ernestq Vicitex Cortizo.

Director en funciones: D. Eloy Dorado Bernal

Precios

ESPAÑA:

Suscripción anual..... 6.000 ptas.
Fascículo suelto 1.200 "

EXTRANJERO:

Suscripción anual 8.000 ptas.
Fascículo suelto 1.500 "

La correspondencia relativa a trabajos y su publicación, a:

ANALES DE EDAFOLOGIA Y AGROBIOLOGIA
SERRANO, 115 BIS. MADRID-6 (ESPAÑA)

La correspondencia relativa a suscripciones o adquisiciones, a:

DISTRIBUCION DE PUBLICACIONES DEL C.S.I.C.
VITRUBIO, 16. MADRID-6 (ESPAÑA)



TOMO XLIV - NUMEROS 7-8

Páginas 919-1224. Julio-agosto 1985
«Anales de Edafología y Agrobiología»