

**LIBERACION EXPERIMENTAL DE BASES EN SUELOS  
DE ORIGEN GRANITICO DEL MARESME (BARCELONA):  
CORRELACIONES ENTRE LOS VALORES DE LAS DIVERSAS  
MAGNITUDES ESTUDIADAS**

por J. BECH, J.M. FERNANDEZ DELGADO, M. BERBEL  
*Laboratori de Sòls. Escola d'Agricultura de Barcelona  
y Departamento de Fisiología Vegetal.  
Facultad de Biología. Universidad.*

**RESUM**

S'estableixen correlacions entre sèries cronològiques de valors d'alliberament experimental de bases (Ca, K, Na, Mg), de variació de la conductibilitat i evolució del pH, en sòls d'origen granític de la comarca del Maresme (Barcelona). La tècnica experimental emprada fou la de percolació automàtica, a 30° C durant un any i mig, de 200 g de material en cada mostra, que eren lixiviats amb 30 cc d'aigua destil·lada cada 24 hores. Les correlacions es fan extensives als tercers suavitzats de mitjanes mòbils i a

les sèries d'increments de les dades reals respecte als esmentats suavitzats. S'aprecia una correlació altament significativa entre les sèries d'alliberament de bases i de variació de la conductibilitat, en valors reals, ja sigui entre magnituds de la mateixa mostra, ja sigui entre les de mostres diferents. Les correlacions entre sèries d'increments són menys significatives, encara que en més d'un 60 % dels casos mostren coeficients acceptables.

## SUMMARY

We established correlations between chronological series of experimental liberation values of bases (Ca, K, Na, Mg), variation of conductivity and of pH, for soils of granite origin from the "El Maresme" area (Barcelona, Spain) 200 gr. soil amples were subjected to automatic percolation at 30°C for one and a half years, using 30 ccs of distilled water every 24 hours.

The correlations were extended to the triply smoothed curves of mobile ave-

rages and to the series of increments of the real data with respect to these smoothed curves. A highly significant correlation was observed between the base liberation series and the variation of conductivity in real values, whether these were for magnitudes of a single sample or between different samples.

Correlations between series of increments were less significant, although in more than 60% of cases they show acceptable coefficients.

## INTRODUCCION

En la "arenización" del granito, junto al mecanismo físico de la disyunción o desagregación, concurren fenómenos químicos, fundamentalmente la hidrólisis de feldespatos y micas. Por la misma, las estructuras minerales ceden iones (Correns, 1951; Frederickson 1951), en proporciones variables.

Hemos estudiado (Bech, 1966, 71, 74, 80) la liberación experimental de los alcalinos y alcalinotérreos a lo largo del tiempo (18 y 14 meses) sometiendo diversas muestras representativas a percolación controlada (30° C, 30 cc. de agua destilada cada 24 horas a través de 200 grs. de material).

En la presente publicación se establecen correlaciones entre los pares de series de valores de las diversas magnitudes estudiadas. La finalidad de dicho estudio es determinar las posibles relaciones que existen entre las bases liberadas

en el tiempo (Ca, K, Na y Mg), así como su influencia en la variación de la conductibilidad y en la evolución del pH.

Nos interesa, por otra parte, ver la posible correlación de las diferentes series de resultados de una misma muestra y por otra las de diferentes muestras entre sí. En el primer caso los coeficientes de correlación obtenidos nos orientarán sobre el posible paralelismo entre los valores liberados de una misma muestra; en el segundo caso, sobre dicho paralelismo entre muestras diferentes.

Prendemos, además, profundizar en el tema con el fin de precisar la posible correspondencia entre las fluctuaciones que se observan en las gráficas de liberación ppm/tiempo. Este aspecto se relaciona estrechamente con otros trabajos precedentes, (Bech 1971, Bech et

al. 1980), cuya finalidad era el estudio de incrementos de los valores reales respecto al tercer suavizado de medias móviles. Dichos incrementos representan en realidad el valor de las oscilaciones en las gráficas de liberación.

Con este propósito se han aplicado los cálculos de correlaciones a las series

## MATERIAL

Las muestras de suelos de origen granítico del Maresme (Barcelona), con las que se han llevado a cabo las experiencias de liberación de bases, han quedado descritas, tanto en lo referente a su lugar de origen en el terreno como en cuanto a sus características mineralógicas, físicas y químicas, en trabajos precedentes: Bech (1972-74).

Un resumen de las características de tales muestras se presenta en el cuadro I.

Desde el punto de vista de nomenclatura, recordamos se trata de las muestras:

- Núm. 4: Saprolito de la zona media
- Núm. 5: Regolito de la zona media
- Núm. 7: Suelo granítico de la zona baja
- Núm. 8: Muestra núm. 4 a la que se ha eliminado la fracción superior a 0,2 mm.

## METODOS

En este apartado deben considerarse dos aspectos:

a) Métodos de obtención de los extractos percolados y análisis de los mismos.

b) Métodos de cálculo de correlaciones matemáticas y representación gráfica de los coeficientes de correlación y rectas de regresión obtenidas.

Con relación al aspecto a) remitimos a publicaciones precedentes (Bech 1966, 1971 y 1974).

b) Métodos de cálculo de correlaciones y de representaciones gráficas de los re-

### sultados

Se han realizado correlaciones entre series de valores de liberación de bases (Ca, K, Na y Mg), evolución del pH y variaciones de la conductibilidad y de los volúmenes percolados.

La inclusión de las series de los volúmenes percolados en las diversas muestras se hace con el fin de analizar la posible influencia de dichos volúmenes en las variaciones de liberación de los distintos cationes, así como en la evolución de la conductibilidad y del pH.

Cuadro núm. 1  
ANÁLISIS DE LOS SUELOS UTILIZADOS EN LA EXPERIENCIA

Muestras núms.	4 Premià de Dalt sapolito zona media	5 Premià de Dalt regolito zona media	7 Vilassar suelo de zona baja
% Grava	18,6 %	43,2 %	21%
<i>Análisis mecánico</i>			
Arena gruesa	71,3 %	84,4 %	67,7 %
Arena fina	19,2 %	11,4 %	19,9 %
Limo	5,9 %	1,1 %	5,5 %
Arcilla	3,6 %	3,1 %	7 %
pH (en H <sub>2</sub> O)	7,2 %	8 %	6,8 %
pH (en CaSO <sub>4</sub> )	7,2 %	7,6 %	6,5 %
CO <sub>3</sub> Ca	—	—	—
M. orgánica	1,296 %	0,22 %	1,48 %
<i>Bases extractables</i> en AcNH <sub>4</sub> , pH <sub>7</sub>			
K	270 ppm	115 ppm	145 ppm
Na	115 ppm	120 ppm	115 ppm
Mg	109 ppm	113 ppm	328 ppm
Ca	2640 ppm	1800 ppm	1440 ppm
<i>Extracto 1:5</i>			
Conductibilidad	0,456 mmhos	0,145 mmhos	0,239 mmhos
Sales totales	1,459 g/litro	0,464 g/litro	0,767 g/litro
C. I. C.	5,57 m.e. %	5,7 m.e. %	7,4 m.e. %
<i>Análisis químico total</i>			
SiO	70,90	70,29	67,04
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,15	12,80	14,62
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,55	3,73	4,46
MgO	1,33	1,24	1,07
CaO	1,39	1,87	1,87
Na <sub>2</sub> O	2,29	2,59	2,56
K <sub>2</sub> O	2,89	3,01	2,69
H <sub>2</sub> O +	2,05	1,58	3,82
H <sub>2</sub> O -	1,78	1,44	1,46
<i>Total</i>	99,43	98,55	99,68

Los cálculos de correlación no se han limitado a las series de valores reales, sino que se han aplicado igualmente a las series de valores de los terceros suavizados de medias móviles y a las de incrementos de los datos reales respecto a dichos suavizados.

Para ello se ha seguido el proceso matemático siguiente:

- 1) Cálculo, para cada serie de valores, del tercer suavizado de medias móviles.
- 2) Determinación, a partir de él, de las series de incrementos de los valores reales respecto a dicho suavizado.
- 3) Establecimiento de correlaciones entre los pares de series de terceros suavizados y de incrementos.

El trazado de las gráficas y el cálculo de los terceros suavizados, incrementos, rectas de regresión y coeficientes de correlación (Snedecor, 1964, págs. 201-238 Yule-Kendall, 1967, págs. 216-270) se ha realizado con ayuda de una computadora I.B.M. 360 N del servicio de cálculo de la Universidad de Barcelona.

Los coeficientes de correlación se han agrupado en dos cuadros, uno referido a magnitudes dadas en valores reales (cuadro núm. 3) y el otro a las series de incrementos de los valores reales respecto del tercer suavizado de medias móviles (cuadro núm. 6). En estos cuadros se indican en primer lugar los valores de correlación entre las distintas magnitudes de una misma muestra. Luego figuran los referentes a las magnitudes de dos muestras diferentes. En este segundo grupo, la muestra que se

cita en primer lugar corresponde a la primera magnitud indicada en la parte superior del cuadro y la posterior a la que figura en segundo lugar en dicha parte superior.

Al final de cada cuadro se recojen los coeficientes de correlación entre las series de valores de los distintos cationes y los de variación del pH y del volumen percolado, siempre referidos a una misma muestra.

Hemos utilizado algunos signos especiales en estos cuadros:

—\* (asterisco): indica que en todas las series de datos correlacionadas se han suprimido los tres primeros valores.

—(1): advierte que, en las series correspondientes a las muestras 4 y 5, se han tomado los 56 primeros valores. A estas series las llamamos “largas”, ya que constan de 84 datos, obtenidos en el período de experiencias comprendido enyre el 4-9-64 y 4-4-66.

—(2): indica que, en las series “largas”, se han escogido los 56 últimos datos. Se toman 56 datos de las series antes indicadas para poder establecer correlaciones con las series de las muestras 7 y 8 (s. “cortas”). Dichas muestras constan de este número de datos y corresponden a las experiencias realizadas entre el día 15-3-65 y el 4-4-66.

De la tabla expuesta por Snedecor (1964, pág. 217) son los valores mínimos de los coeficientes de correlación, con niveles de significación del 95% y del 99%, que exponemos en el cuadro 2. Los diversos grados de libertad que se citan están de acuerdo con los que presentan las series estudiadas.

Cuadro núm. 2  
COEFICIENTES DE CORRELACION

Grados de libertad	Niveles de significación	
	95 %	99 %
40	0,304	0,393
45	0,288	0,372
50	0,273	0,354
60	0,250	0,325
70	0,232	0,302
80	0,217	0,283

Debido a la gran cantidad de correlaciones ensayadas y comentadas hemos representado sólo las rectas de regresión y las nubes de puntos de algunas de ellas, las más significativas, con el fin de ilustrar diversos aspectos tratados en la presente publicación.

Al efectuar estas representaciones gráficas se puso de manifiesto en algunos casos un desajuste entre las nubes

de puntos y las rectas de regresión. Suprimiendo los tres primeros valores este desajuste desaparecía y los nuevos coeficientes de correlación resultaban igualmente significativos. Se ha comprobado que esta falta de acoplamiento era debida a la influencia que ofrecían, al calcular las ecuaciones de las rectas de regresión, los primeros valores de liberación, muy elevados respecto al resto.

## RESULTADOS

### Estudio de las correlaciones entre los valores de liberación de bases, conductibilidad, pH y volúmenes extraídos en el tiempo

Los coeficientes de correlación se han agrupado en cuadros según el procedimiento indicado en Métodos.

#### 1.— Correlaciones entre series de valores reales

*A/ Correlaciones entre las distintas se-*

*ries de cada muestra*

Todos los coeficientes de correlación de los diferentes pares de series de valores reales correspondientes a la liberación de cationes son elevados. Esta excelente correlación se manifiesta sobretudo en las muestras núms. 4 y 8. En las otras dos (núms. 5 y 7) los resultados son más dispares (ver cuadro núm. 3).

Entre Ca y Na las correlaciones son

siempre excelentes.

Aquellas correlaciones que se refieren a Mg y K ofrecen resultados algo heterogéneos según las muestras.

También son elevados los coeficientes de correlación de los diferentes cationes respecto a la conductibilidad. El orden decreciente de tales coeficientes es el que sigue:

- Muestra 4<sup>a</sup> Ca, Na, K, Mg.
- Muestra 5<sup>a</sup> Ca, Na, K, Mg.
- Muestra 7<sup>a</sup> Ca, Na, Mg, K.
- Muestra 8<sup>a</sup> Ca, Mg, Na, K.

Las correlaciones entre los distintos cationes y conductibilidad con respecto

al pH son poco significativas.

Idéntica afirmación puede hacerse en lo que afecta a las series de volúmenes percolados.

No obstante, en la muestra núm. 8 se hallaron en principio unos coeficientes de correlación siempre significativos pero negativos. Además se apreciaba un desajuste entre las rectas de regresión y las correspondientes nubes de puntos. Ahora bien, se comprueba que, al suprimir los primeros valores de las series cronológicas de acuerdo con el argumento de Métodos, desaparece esta correlación significativa, a la vez que las rectas de regresión se ajustan a las nubes de puntos correspondientes.

Cuadro núm. 3

## COEFICIENTES DE CORRELACION ENTRE MAGNITUDES DADAS EN VALORES REALES

	Ca - K	Ca - Na	Ca - Mg	K - Na	K - Mg	Na-Mg	Ca-Cond	K-Cond	Na-Cond	Mg-Cond
Muestra 4	0,8719	0,9623	0,8719	0,9625	0,8461	0,8446	0,9625	0,9077	0,9171	0,8365
Muestra 5	0,9196	0,7849	0,7423	0,8931	0,7583	0,5152	0,9501	0,8512	0,8847	0,6771
Muestra 7	0,5280	0,8525	0,8930	0,4625	0,4361	0,8153	0,9894	0,5287	0,8374	0,6355
Muestra 8	0,8669	0,8900	0,9732	0,7121	0,6101	0,9497	0,9979	0,8791	0,8930	0,9728
Muestras 4 y 5	0,4582	0,8170	0,4107	0,8931	0,5356	0,4643	0,7236	0,8742	0,8029	0,6627
Muestras 5 y 4	0,8134	0,7295	0,5974	0,5530	0,4475	0,7344	0,6058	0,4204	0,7850	0,3739
Muestras 7 y 8	0,7742	0,9177	0,8653	0,3111	0,3590	0,9489	0,8345	0,3921	0,9779	0,8403
Muestras 8 y 7	0,3574	0,9757	0,8455	0,9101	0,8669	0,5945	0,8338	0,7897	0,9068	0,8744
Muestras 4 y 7 (1)	0,2951	0,8053	0,4884	0,6899	0,6059	0,5948	0,9051	0,9336	0,9159	0,7781
Muestras 7 y 4 (1)	0,9541	0,9266	0,8030	0,3955	0,3024	0,7262	0,9101	0,2757	0,8224	0,5082
Muestras 4 y 8 (1)	0,6349	0,9813	0,8921	0,9541	0,9061	0,9162	0,8261	0,8630	0,8805	0,7294
Muestras 8 y 4 (1)	0,8530	0,8719	0,7251	0,7447	0,5954	0,8721	0,8309	0,6472	0,9848	0,9031
Muestras 5 y 7 (1)	0,8029	0,7582	0,6528	0,5504	0,5168	0,8143	0,8210	0,6440	0,8606	0,5706
Muestras 7 y 5 (1)	0,6433	0,8505	0,5559	0,4693	0,7328	0,4724	0,8528	0,7187	0,8696	0,6798
Muestras 5 y 8 (1)	0,8867	0,6438	0,6725	0,4136	0,4501	0,9466	0,7104	0,4801	0,9822	0,4429
Muestras 8 y 5 (1)	0,4489	0,9765	0,4048	0,9148	0,6648	0,3692	0,7110	0,9204	0,7365	0,7685
Muestras 4 y 7 (2)	0,5476	0,1802	0,2287	0,0712	0,0632	-0,0294	-0,0002	0,1809	0,0642	0,4145
Muestras 7 y 4 (2)	0,1423	0,0122	0,4090	0,1951	0,5421	0,2021	0,0996	0,2543	0,0136	0,0389
Muestras 4 y 8 (2)	0,3636	0,1567	0,1951	0,0667	0,0823	0,0229	0,2430	0,0862	-0,0145	0,2269
Muestras 8 y 4 (2)	0,0602	-0,0313	0,1962	0,0843	0,3093	0,2773	0,0318	0,2049	0,0067	0,0395
Muestras 5 y 7 (2)	0,4225	0,5696	0,3590	0,5084	0,2121	0,0280	0,5718	0,4351	0,0974	-0,0509
Muestras 7 y 5 (2)	0,4476	0,1243	-0,0454	0,1450	-0,0457	0,1177	0,1787	0,3287	0,2438	0,2310
Muestras 5 y 8 (2)	0,5393	0,5805	0,5476	0,4274	0,3892	0,1128	0,5323	0,4129	0,1145	0,1172
Muestras 8 y 5 (2)	0,3987	0,1092	0,1027	0,2202	0,1312	-0,0402	0,1918	0,3216	0,1169	0,1678
	Ca-pH	K-pH	Na-pH	Mg-pH	Ca-Vol	K-Vol	Na-Vol	Mg-Vol	pH-Vol	
Muestra 4	0,0595	0,0612	0,0624	0,1296	0,2129	0,2199	0,25667	-0,2740	0,0595	
Muestra 5	0,4285	0,4554	0,3602	0,3015	-0,2625	-0,1603	-0,3535	-0,0992	-0,0872	
Muestra 7	0,3966	0,5334	0,4055	0,3961	-0,2956	-0,0080	-0,4625	-0,1135	-0,0732	
Muestra 8	0,0125	0,0545	-0,0183	-0,0271	-0,5739	-0,5493	-0,6948	-0,5883	-0,0462	



*B/ Correlaciones entre series de diferentes muestras*

Las correlaciones (ver cuadro núm. 3) son todas aceptables para todos los cationes y la conductibilidad, e incluso excelentes en algunos casos, tanto en los pares de series de las muestras 4-5

y 7-8 como en los 4-7, 4-8, 5-7, 5-8, tomados los 56 primeros valores de las series 4 y 5. En estos últimos grupos destacan, sobre todo, los coeficientes del par 4-8 (todos superiores a 0,550). El cuadro núm. 4 nos ilustra lo expresado anteriormente.

Cuadro núm. 4

Muestras	Núm. datos	Núm. coef. corr. significativos	Núm. total de coef.	% de coef. significativos
4-5	todos	25	25	100 %
7-8	todos	25	25	100 %
4-7	56 prim. de la núm. 4	25	25	100 %
4-8	„	25	25	100 %
5-7	56 prim. de la núm. 5	25	25	100 %
5-8	„	25	25	100 %

Los coeficientes de correlación de los diferentes pares de series correspondientes a las muestras 7 y 8 son superiores a los de las 4 y 5, lo cual es lógico ya que para que las correlaciones tengan el mismo grado de validez los coeficientes deben ser mayores para las series cortas (7-8).

Destaca la excelente correlación entre Ca y Na, y conductibilidad en las muestras 7 y 8. Con la diferencia de valores señalada en el párrafo anterior, se observan los mismos resultados con los Ca, Na y conductibilidad de las muestras 4 y 5.

Lo afirmado en el punto anterior se cumple también entre estas magnitudes,

en correlaciones de muestras diferentes, más acusado en las muestras 4 y 8.

Responden igualmente bien los cationes K y Mg de las muestras 4 y 8; no así los correspondientes a las muestras 5 y 7 cuyos coeficientes de correlación con otras magnitudes suelen ser inferiores al 0,600.

Las correlaciones entre los últimos 56 valores de las diversas series de las muestras 4 y 5 con las 7 y 8 no son en general significativas. El cuadro núm. 5 indica el núm. de coeficientes de correlación significativos para cada par de muestras al tomar los 56 últimos datos de las muestras 4 y 5.

Cuadro núm. 5

Muestras	Núm. datos	Núm. coef. corr. significativos	Núm. total de coef.	Núm. de coef. significativo
4-5	56 últ. de la núm. 4	6	25	24%
4-8	"	33	25	12 %
5-7	56 últ. de la núm. 5	10	25	40 %
5-8	"	11	25	44 %

## 2.— Correlaciones entre terceros suavizados de medias móviles

Como era de esperar los coeficientes de correlación de estos tipos de series mejoran los ya obtenidos en las series de valores reales ya que dichos suavizados eliminan las fluctuaciones de cada gráfica y las transforman en curvas de trazado aún más parecido entre sí que las de valores reales. Por esta razón no comentamos más los coeficientes de correlación obtenidos.

## 3.— Correlaciones entre series de incrementos de valores reales respecto del tercer suavizado de medias móviles

En el cuadro que adjuntamos a continuación se reúnen, tal y como hemos hecho en las series de valores reales, por una parte los coeficientes de correlación de todos los cationes, conductibilidad, pH y volumen agrupadas por muestras,

y por otra los coeficientes de una muestra con los de cada una de las otras (ver cuadro núm. 6).

### A/ Correlaciones entre las distintas series de cada muestra

Indudablemente el grado de correlación entre estas series es muy inferior al que muestran las de valores reales y los terceros suavizados. Sin embargo los coeficientes tienen valores significativos, con error menor al 5%, en un 63% de los casos y cerca del 60% de los casos con un error menor del 1%.

Correlacionan aceptablemente Ca, Na, en todas las muestras. Las parejas Na-K, Ca-Mg, Ca-Conduct. y Na-conduct. lo hacen en tres de las cuatro muestras, respectivamente.

La muestra núm. 8, cuyas características ya han sido descritas en el apartado de Material, exhibe correlaciones significativas para todos los cationes y conductibilidad entre sí.

Cuadro núm. 6  
 COEFICIENTES DE CORRELACION ENTRE SERIES DE INCREMENTOS DE LOS VALORES REALES  
 RESPECTO DEL TERCER SUAVIZADO

	Ca - K	Ca - Na	Ca - Mg	K - Na	K - Mg	Na - Mg	Ca-Cond	K-Cond	Na-Cond	Mg-Cond
Muestra 4	- 0,0359	0,2676	0,4886	0,4594	0,0585	- 0,0484	0,2201	0,0200	0,0551	0,0149
Muestra 5	0,3062	0,4019	- 0,3237	0,2302	- 0,0144	- 0,2056	0,3435	0,4054	0,7640	- 0,1367
Muestra 7	0,1433	0,2949	0,3704	0,2258	- 0,1431	0,4934	0,7799	0,1318	0,3810	0,5208
Muestra 8	0,3362	0,5953	0,6956	0,8433	0,3921	0,5201	0,9827	0,3200	0,5837	0,7221
Muestras 4 y 5	- 0,0442	0,4602	- 0,2060	0,1729	- 0,0256	- 0,2678	0,3027	0,3268	0,3426	0,0168
Muestras 5 y 4	0,3148	0,2283	- 0,0808	0,3210	0,0289	- 0,0356	- 0,0018	0,1292	0,0665	- 0,0100
Muestras 7 y 8	0,2407	0,2283	0,1483	0,2729	- 0,0208	0,6179	0,3318	- 0,2378	0,7335	0,6646
Muestras 8 y 7	- 0,2333	0,7380	0,6764	0,6694	0,2080	0,3684	0,4617	0,3501	0,3315	0,2935
Muestras 4 y 7 (1)	- 0,2203	0,4085	0,5386	0,4085	0,0842	0,3803	0,3865	0,0371	0,1869	0,0540
Muestras 7 y 4 (1)	0,1083	0,0725	0,1545	0,0627	0,2789	0,3767	0,3882	0,0497	0,5409	0,4945
Muestras 4 y 8 (1)	0,1789	0,2616	0,4310	0,3474	0,0510	0,3751	0,5584	- 0,0700	0,4027	0,1210
Muestras 8 y 4 (1)	- 0,0285	0,3975	0,1228	0,2773	0,5346	0,4795	0,4853	0,4929	0,4695	0,4877
Muestras 5 y 7 (1)	- 0,2837	0,2348	0,2716	0,0384	- 0,0302	0,4914	0,2244	- 0,0694	0,3144	- 0,0372
Muestras 7 y 5 (1)	- 0,1387	0,1957	0,0364	- 0,3066	0,0817	- 0,1745	0,1911	- 0,1903	0,5259	0,5338
Muestras 5 y 8 (1)	0,1830	0,1814	0,0749	0,1056	- 0,0329	0,5683	- 0,2214	- 0,0694	0,8323	- 0,1902
Muestras 8 y 5 (1)	- 0,1429	0,8341	- 0,2456	0,3959	0,1460	- 0,0325	0,6112	0,5106	0,5882	0,4800
Muestras 4 y 7 (2)	- 0,1815	- 0,1304	0,1787	- 0,0447	- 0,0533	- 0,8076	0,0539	- 0,0264	0,0876	- 0,1353
Muestras 7 y 4 (2)	- 0,1670	- 0,2290	- 0,1670	0,0115	- 0,0151	- 0,3656	0,0351	- 0,0169	- 0,0814	- 0,2181
Muestras 4 y 8 (2)	- 0,0386	- 0,1463	0,0362	- 0,0283	- 0,0159	- 0,0688	0,0430	- 0,1721	- 0,1796	- 0,1326
Muestras 8 y 4 (2)	- 0,1109	- 0,1447	- 0,1074	- 0,0591	- 0,4052	- 0,2974	0,0392	0,0040	- 0,1037	0,0377
Muestras 5 y 7 (2)	0,0901	0,0367	0,1141	- 0,0955	0,1495	- 0,0175	- 0,1047	- 0,1292	- 0,0359	- 0,1901
Muestras 7 y 5 (2)	- 0,2113	- 0,0255	- 0,0228	0,0094	- 0,2367	- 0,0717	0,0571	- 0,0672	0,0499	0,1839
Muestras 5 y 8 (2)	0,1394	0,1157	0,1059	0,0804	- 0,0386	- 0,1570	- 0,0231	- 0,2735	- 0,1738	0,1245
Muestras 8 y 5 (2)	- 0,2967	- 0,2076	0,0733	0,2876	0,0625	0,0846	- 0,0016	0,1181	0,0469	0,1068

  

	Ca-pH	K-pH	Na-pH	Mg-pH	Ca-Vol	K-Vol	Na-Vol	Mg-Vol	pH-Vol
Muestra 4	0,0965	0,0673	0,0492	0,1800	0,3358	- 0,2680	0,1145	0,0681	- 0,2275
Muestra 5	0,0778	0,0468	0,0261	- 0,1537	0,0248	0,0059	- 0,0428	0,1134	- 0,1052
Muestra 7	0,1544	0,1322	0,0541	- 0,2084	0,1986	0,1367	0,0439	0,1010	- 0,1733
Muestra 8	- 0,0295	- 0,0596	- 0,0617	- 0,1877	- 0,3218	- 0,5475	- 0,3850	- 0,1734	- 0,0687

*B/ Correlaciones entre series de diferentes muestras*

En este apartado hemos seguido el mismo procedimiento utilizado al estudiar, en valores reales, los coeficientes de correlación entre las diferentes magnitudes de cada par de muestras. Es decir, se ha confrontado, en los casos en que se correlacionan series "largas" (muestras 4 y 5) con series "cortas" (muestras 7 y 8), unas veces los valores iniciales de las primeras con todos los de las "cortas", y otras veces los valores finales de las "largas" con todos los de

las muestras 7 y 8.

Las conclusiones que se deducen de la observación del cuadro 6 son:

- Los coeficientes son notablemente inferiores a los análogos correspondientes a series de valores reales.
- Existen coeficientes de correlación significativos en todos los cuadros correspondientes a las correlaciones verificadas con todos los datos o con los 56 primeros valores. El cuadro núm. 7 nos ilustra sobre las proporciones en que dichos coeficientes son significativos.

Cuadro núm. 7

Muestras	Núm. datos	Núm. coef. corr. significativos	Núm. total de coef.	% de coef. significativos
4-5	todos	9	25	36 %
7-8	"	18	25	72 %
4-7	56 prim. de la núm. 4	12	25	48 %
4-8	"	18	25	72 %
5-7	56 prim. de la núm. 5	9	25	36 %
5-8	"	11	25	42 %

De este cuadro se deduce que las máximas correlaciones significativas se da en los pares de muestras 7-8 y 4-8. En dichos pares los coeficientes son más elevados en general que los correspondientes a los demás pares de muestras.

Los coeficientes de correlación correspondientes a los pares de series de incrementos de los 56 últimos valores de las muestras 4 y 5 con todos los de las series de 7 y 8 no son, salvo excepciones, significativos (véase cuadro núm. 8).

Cuadro núm. 8

Muestras	Núm. datos	Núm. coef. corr. significativos	Núm. total de coef.	% de coef. significativos
4-7	56 últimos de la núm. 4	2	25	8 %
4-8	"	2	25	8 %
5-7	56 últimos de la núm. 5	—	25	0 %
5-	"	3	25	12 %

## CONCLUSIONES

Existe correlación significativa, en todos los casos, entre los cationes y la conductibilidad de las series de valores reales de una misma muestra y entre los de muestras diferentes, siempre que al correlacionar series "largas" (84 valores) con "cortas" (56 valores) se escojan los 56 primeros de las series "largas".

Este hecho nos permite decir que:

Tal como se deduce del trazado de las gráficas de datos, los procesos de liberación tienen lugar según fases concretas y ordenadas para todas las muestras.

En ciertos momentos, además, la correlación es altamente significativa. Esto es signo evidente no sólo de una correspondencia entre las fases principales de evolución de dichas magnitudes en el tiempo sino también de una estrecha relación en la variación de las mismas. Esta afirmación es válida tanto para magnitudes de una misma muestra co-

mo para las de muestras diferentes. Como ejemplo más ilustrativo de todo ello destaca la excelente correlación puesta de manifiesto entre Ca y Na; al referirnos a una misma muestra se evidencia la relación  $Ca/Na = cte.$ , característica; al considerar muestras diferentes pensamos que la evolución experimental de estos suelos, de características análogas ha sido paralela. Es igualmente interesante la de Na-K en las muestras 4 y 8.

No hay que olvidar que las movildades de estas tres bases son análogas. Ya en clima templado Ca y Na son evacuados de manera similar. En las condiciones experimentales de tipo tropical húmedo exagerado, como se favorece la hidrólisis de la ortosa y la microclina, la velocidad de partida de K del cristal se acerca mucho a la de Ca y Na.

La evolución experimental paralela de estos suelos se confirma por los aceptables e incluso muy significativos

coeficientes de correlación entre bases de diferentes muestras. Dicho de otra manera los procesos son más paralelos en su evolución respecto al tiempo de experimentación que en cuanto a su cronología absoluta. Esta afirmación, que en el caso de los valores reales y terceros suavizados resulta clara, tiene especial interés, como se afirma más adelante, en los casos en que es válida al referirnos a las correlaciones en los incrementos de los valores reales respecto del tercer suavizado.

La uniformidad de temperatura en todas las muestras favorece estos resultados.

Además, en las muestras 4 y 8, en especial la última, se da una apreciable proporción de fracciones finas que, gracias a su actividad amortiguadora, tienden, en conjunto, a homogenizar la proporcionalidad de los valores de liberación en el tiempo. En las correlaciones en las que interviene la conductibilidad y un catión los coeficientes excelentes obtenidos en ciertos casos nos informan sobre la relación existente entre la actividad iónica de la base y la conductibilidad, en todas las muestras. En la núm. 5, además, es también excelente la correlación Na-Conductibilidad.

Al correlacionar los 56 datos finales de las magnitudes de series "largas" (4 y 5) con todos los de las series "cortas" (7 y 8) se obtienen coeficientes notablemente inferiores a los correspondientes a los 56 primeros valores. De ello se deduce que no existe una influencia del tiempo absoluto en los procesos de liberación. Este hecho se comprueba tanto en valores reales como en incrementos de dichos valores respecto del tercer suavizado.

Esto lógicamente debe interpretarse como que, iniciado el ataque, este prosigue selectivamente según la ordenación de Goldich aunque, dependiendo de las condiciones del medio, las etapas pueden imbricarse más o menos para los conjuntos de minerales presentes. Todo ello se traduce, en la dinámica de liberación de bases, en una especie de "carrera de relevos" en la que se suceden las secuencias de alteración de cada mineral presente (así se destruyen, hornblenda, luego biotita y anortita... y al fin la epidota).

Más o menos, Tardy (1969) llega a las mismas conclusiones para las aguas de fuentes.

Las correlaciones entre pares de terceros suavizados de medias móviles reafirman los comentarios anteriores ya que dichos suavizados, al suprimir las fluctuaciones de pequeña amplitud, reproducen con más precisión las tendencias generales de las gráficas de valores reales.

La falta de relación entre las nubes de puntos y las rectas de regresión correspondientes en algunas correlaciones (especialmente en las magnitudes de la núm. 8) se produce por la influencia de los primeros valores de liberación, muy elevados, al calcular las rectas de regresión. Ello puede ser debido a la problemática del intercambio catiónico realmente mucho más decisivo en esta primera fase que los procesos de hidrólisis. Recordemos que la muestra núm. 8 (saproilito, fracción inferior a 0,2 mm) exhibe unos valores elevados en la primera fase de percolación, influida sin duda por la liberación de intercambio.

No obstante, al suprimir estos primeros datos la correlación conserva el mis-

mo grado de significación.

El volumen extractado no correlaciona, en general, con las magnitudes, prueba evidente de la no influencia de las variaciones en las fluctuaciones de las bases y de la conductibilidad. En las pocas ocasiones que parece existir correlación (muestra núm. 8 correlación negativa) la "nube de puntos" se distribuye de forma irregular y los coeficientes decrecen ampliamente al suprimir los primeros valores.

Los coeficientes de correlación entre pares de series de incrementos de valores reales respecto del tercer suavizado son inferiores a los obtenidos en valores reales y terceros suavizados.

Sin embargo, el grado de significación es particularmente interesante en aquellos casos en que ya era excelente para series de valores reales: Ca-Na en

todas las muestras, Na-K (menos la muestra núm. 7) y los ya citados de Ca-Conduct. (muestras 5, 7 y 8) y Na-Conduct. (muestra 5). También ofrece niveles aceptables de significación en bastantes casos incluso entre magnitudes de muestras diferentes. Pensamos por tanto, en una evolución paralela y rítmica de las fluctuaciones, respecto al tiempo que la muestra ha estado sometida a percolado.

Esta coincidencia en las fluctuaciones no es atribuible a errores de método ya que, por ejemplo, al determinar Ca y Conductibilidad se siguieron procedimientos totalmente distintos: Ca por complexometría con EDTA y conductibilidad con un potenciómetro. Sin embargo, el grado de correlación entre dichas magnitudes, en las muestras núm. 7 y 8, es realmente significativo.

## BIBLIOGRAFIA

- BECH, J. (1966).— *Percolador automático con capacidad para regular condiciones edáficas o de meteorización*. Pub. Inst. Biol. Apl. 40: 135-143.
- BECH, J. (1971).— *Variaciones cronológicas en la liberación de bases por suelos de origen granítico*. Publ. Inst. Biol. Apl. 51:17-32.
- BECH, J. (1972).— *Datos sobre la mineralogía de la fracción arena de los regolitos, saprolitos y suelos graníticos del Maresme (Barcelona)*. Publ. Inst. Inv. Geol. Diput. Prov. Barcelona.
- BECH, J. (1974).— *Liberación de bases en suelos de origen granítico de la comarca de "El Maresme (Barcelona)*. Resumen de Tesis doctoral. Secretaria de publicaciones. Universidad de Barcelona.
- BECH, J., FERNANDEZ DELGADO, J.M y BERBEL, M. (1980).— *Liberación experimental de bases en suelos de origen granítico del Maresme (Barcelona): Posibles componentes periódicos en las series cronológicas de valores*. Arx. Escol. Agric. Barcelona 1980-1: 3-18.

- CABALLERO A. (1969).— *Ritmos de periodo largo en el crecimiento de las plantas*. Mem. Real. Acad. Cien. y Artes de Barcelona. 169-214.
- CORRENS, C.W. (1951).— *La descomposición química de los silicatos en el laboratorio y en el suelo*. Ann. Edaf. Fisio. Veg. 10:625-636.
- FREDERIKSON, A.F. (1951).— *Mechanism of weathering*. Bull. Geol. Soc. Amer. 62: 221.
- GOLDICH, S.S. (1938).— *A study of rock weathering*. J. Geol. 46:17-58.
- SNEDECOR (1964).— *Métodos estadísticos aplicados a la investigación agrícola y biológica*. C.E.C.S.A. México.
- TARDY, Y. (1969). — *Geochimie des alterations. Etude des arenés et des eaux de quelques massifs cristallins d'Europe et d'Afrique*. Mem. Serv. Carte. Geol. Als. Lorr. 31:199p; Strasbourg.
- YULE-KENDALL (1967).— *Introducción a la estadística matemática*. E. Aguilar.