CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTIFICAS

ANALES

DE LA

ESTACION EXPERIMENTAL

DE AULA DEI

Vol. 19 - N.º 3-4 1989

La Estación Experimental de Aula Dei edita las siguientes publicaciones periódicas:

- ANALES
- BOLETINES
- CUADERNOS

Comité de redacción

PRESIDENTE: Dr. D. Luis Montañés García
VOCALES: Dra. D.ª Concepción Tabuenca Abadía
Dr. D. José M. Lasa Dolhagaray
Dr. D. Javier Machín Gayarre
Dr. D. José Luis Arrúe Ugarte
Dr. D. Emilio Monge Pacheco

DIRECTOR DE PUBLICACIONES

D. Angel Sánchez Gómez

La correspondencia debe dirigirse a:
Correspondence should be addressed to:

Director de Anales de la Estación Experimental de Aula Dei
Apartado 202
50080 Zaragoza (España)

I.S.S.N.: 0365-1800. Depósito Legal: Z-777-88. Imp. INO-Reproducciones, S.A., Sta. Cruz de Tenerife, 3. Zaragoza. 1988

ANALES
DE LA
ESTACION EXPERIMENTAL
DE AULA DEI
Vol. 19 - N.º 3-4 1989

CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTIFICAS

ANALES

DE LA

ESTACION EXPERIMENTAL

DE AULA DEI

Vol. 19 - N.º 3-4 1989

ANALES DE LA ESTACION EXPERIMENTAL
DE AULA DEI

Volumen 19 - Nº 3-4 1989

INDICE

A. GARCIA and J.M. LASA.- Seed vigour tests for predicting field emergence of maize under severe conditions 279

M.A. MORENO.- Características descriptivas del patrón ciruelo "Adara" 293

A. NAVAS.- Una ecuación cinética para calcular la velocidisolución de rocas yesíferas en los cauces de la Cuenca del Ebro 301

A. NAVAS.- Implicaciones geomorfológicas del contacto en en los cauces entre litofacies yesíferas y las aguas circulantes en la Cuenca del Ebro 313

A. NAVAS.- Incorporación de los yesos a las aguas circulantes en el contacto directo en los cauces de la Red Hidrográfica del Ebro 321

A. NAVAS.- Una metodología experimental para el estudio del transporte de solutos y sedimentos por la escorrentía superficial sobre suelos calcáreos y yesíferos 335

A. NAVAS.- La participación de los yesos en la salinización de las aguas superficiales de la Cuenca del Ebro 345

M. HYCKA y A. ARMERO.- Praderas temporales y cultivos forrajeros anuales en rotaciones de cultivos en el secano del Maestrazgo aragonés 361

R.A. MALVAR, A.M. de RON and A. ORDAS.- Numerical taxonomy of maize landraces: comparison between experimental designs 373

Normas para presentación de originales 379

Relación de evaluadores 383

Indice del Volumen 19 385

An. Aula Dei 19(3-4):279-291.

Seed vigour tests for predicting field emergence of maize under severe conditions

by A. GARCIA and J.M. LASA

Estación Experimental Aula Dei, Apdo 202. ZARAGOZA.

Received: 31-X-1989

Key words: vigour, seeds, emergence, maize, indirect methods.

ABSTRACT

A. García and J.M. Lasa. 1989. Seed vigour tests for predicting field emergence of maize under severe conditions. **An. Aula Dei 19(3-4):279-291.**

With 40 to 50 different seed vigour tests available, appropriate procedures for choosing the best single test or combination of tests are necessary. The objective of this study was to select the best predictors of seedling emergence of maize (Zea mays L.) under severe conditions. Thirteen vigour tests and various field emergence trials were performed on six inbred lines and two commercial hybrids. The best single predictors of field emergence were identified by calculating simple correlation coefficients. The calculation of the geometric mean of the results of several vigour tests is a method for utilising multiple tests that are correlated. Taking all this into account, the tests which best predict seedling emergence were germination percentage in a saline solution at an osmotic potential (O.P.) of -2 bars, germination percentage at 10°C related to the control, and germination percentage in a saline solution at an O.P. of -6 bars.

INTRODUCTION

Some 40 to 50 laboratory test procedures have been proposed for measuring seed and seedling vigour of agronomic and horticultural crops. Many of these tests are described in the Seed Vigor Testing Handbook of the International Seed Testing Association (Perry, 1981). Most of them are based on one of the following criteria: germination and seedling growth characteristics, germination under stress conditions, survival under stress conditions, physical parameters, biochemical characteristics, and degree of mechanical damage.

Vigour tests are commonly evaluated according to their ability to predict some aspects of potential seed performance, particularly seedling growth rate, seedling emergence in the field, plant uniformity, and seed storability. Although vigour tests are normally designed to measure aspects of seed deterioration, attempts are sometimes made to employ the same tests to evaluate genetic differences in seed performance (Perry, 1970; Ching et al., 1977; Johnson and Wax, 1978; Burris and Navratil, 1979; Briggs and Horak, 1980; Wayne Smith and Varvil, 1984; Durrant et al., 1985; Martin et al., 1988).

With this array of possible vigour tests available, appropriate procedures for choosing the best single or multiple predictors of seed performance are necessary. Correlation coefficients are commonly used to indicate which tests have the closest relationship with seed performance under field conditions (De Tempe, 1963; Edje and Burris, 1970; Perry, 1970; Abdullahi and Vanderlip, 1972; Gill and Delouche, 1973; Tekrony and Egli, 1977; Johnson and Wax, 1978; Burris and Navratil, 1979; Yaklich and Kulik, 1979; Martin et al., 1988; Pandey, 1988).

In this research, we use simple correlation coefficients and the geometric mean of several co-linear variables that were good single predictors of seedling emergence (Steiner et al., 1989). The database was obtained from 13 vigour tests, variations, and field emergence of six inbred lines and two commercial hybrids, the latter used as checks.

MATERIALS AND METHODS

Genotypes

Genotypes of high, medium, and low field emergence response in Spain, two each, determined by the Estación Experimental de Aula Dei (EEAD) germplasm bank data, were utilized. High: CM105 and W64A. Medium: EZ7o2 and EZ18o2. Low: B14dec (decussate) and EZ19o2. The o2 genotypes were segregating for this gene. Seed was produced in the year 1987 in Zaragoza (Spain), and stored at 4°C. The seed was treated with 48% Maneb and 2% Lindano, except for gravel emergence, where substrate was sterilized, and in conductivity determinations. The reason for treating the seed was that, when it was not made, there was high fungi contamination and little germination. For the field trials, the seed was treated with the insecticide-nematicide "Curaterr". Two commercial hybrids were used as checks: INRA-260 (check 1) and P-3183 (check 2), except for the conductivity test.

Emergence trials

Emergence trials were conducted at the EEAD near Zaragoza in May 1988 , October 1988 , and April 1989 . The soil is a heavy, Haplic Calcisol, with an EC (1/5) of 0.22 dS/m. One hundred and eight seeds per plot were planted with a pneumatic driller at a depth of 5 cm in 5 m rows. Plots were of four rows separated 75 cm, in a randomised complete block design with three replications in May and October. In April there were three trials, sown in

April 14, April 21, and April 28 respectively, with only one replication. Final percentage of emergence (E%) and the emergence index (EI) (Czabator, 1962) were calculated. This index is the mean days from sowing to total emergence, and reflects emergence speed and completeness:

$$EI = \Sigma(d_i \times n_i)/n.$$

where d_i is the number of day after planting when emergence is evaluated; n_i is the number of seedlings emerged since the last evaluation; n. is the total number of seedlings emerged at the end of the test period.

This index reflects seed vigour, whereas percent emergence accounts for seed vigour plus viability. That is the reason for correlating the emergence index to correlate with the vigour tests.

Viability and vigour tests

Genotypes were subjected to 13 vigour tests, plus controls, plus variations; in total 47 tests as follows:

a) Germination "per se"

Germination percentages (GERM) were performed between blotters at 20°C for seven days in distilled water (AOSA, 1981 cited by Steiner et al. 1989).

b) PEG

Germination and first leaf development in polyethylene glycol (PEG) solutions as drought simulators were evaluated in percentage at O.P. of 0, -1, -2, -4, and -6 bars, using distilled water as a dissolvent (PEG/DW). PEG concentrations were calculated after Michel and Kaufmann (1973). Seeds were sown in sterile filter paper over a 5 mm thick sheath of polyurethane foam soaked in the PEG solution, and placed in plastic trays of 48.5 cm x 33.5 cm x 8 cm. Trays were then covered with a PVC film to prevent evaporation and put in the dark at 25 ± 1°C, in a similar way as described by Young et al. (1968). Evaluation was made 15 days after sowing. We observed in previous trials with commercial hybrids, that there was no first leaf development from -8 b on. To be sure that there is no effect of lack of oligoelements, we also carried out this experiment at an O.P. of -0.5 and -6 b, using well water of an electrical conductivity (EC) of 1.6 dS/m, as a dissolvent (PEG/WW).

c) Salinity

Germination and first leaf development in saline solutions (SALT) were evaluated in percentage at an EC of 5.6 and 16.7 dS/m, corresponding to an O.P. of -2 and -6 b, respectively. The test was carried out as with PEG/DW (Young et al., 1968; Martínez-Cob, 1985). The saline solution consisted of NaCl and $CaCl_2$ in a 1:1 weight proportion. Concentrations were calculated following Ayers and Westcot (1976). Evaluation was made 30 days after sowing, to give time enough to grow in spite of the possible toxic ionic effect.

d) Low temperature

Germination percentage at 10 ± 1°C (LT) was evaluated 12 days after seeding, using distilled water and polyurethane foam in trays as before. In previous trials with commercial hybrid seed,

we observed that germination at 5 and 8°C were less differentiating.

In GERM, PEG, SALT, and LT, we considered germinated seeds where the radicle had at least the length of the seed diameter. 275 ml of solution were applied to each tray. Two replications with 100 seeds per genotype were sowed in GERM. In PEG, SALT, and LT, three replications with 25 seeds per genotype and replication were sowed; the experiments were carried out following a split-plot design, with treatments as main plots and genotypes as subplots; for each treatment, one tray was one replication and block, within which genotypes were randomised; the control was the tray with O.P. = 0, cited in paragraph b.

e) Gravel emergence

Gravel emergence (GE) was evaluated using 16.5 cm plastic pots of 15.5 cm height. A plastic bag was used to prevent water loss. The pots were filled with 1200 cc peat, pressed down to 5 cm thickness, and levelled. 20 seeds were placed on the surface, without touching the inside of the pot. The seeds were then covered by a two centimetres thick layer of sand, allowing the hypocotyl to penetrate easily. These pots were used as controls. In order to simulate crusting, we added 7 cm of gravel. In an earlier trial with commercial hybrids, we tested gravels of different diameters: 2-4, 4-6, 6-8, and 8-10 mm, and found no significant differences. We thus conducted the experiment with 2-4 mm ϕ gravel. All pots were covered with a PVC film to prevent evaporation, which was removed when the first seedling emerged. The experiment was carried out in the dark at 20 ± 1°C. Before use the gravel and sand were autoclaved for two hours at 120°C. Evaluation of percentage of emerged seedlings was made 10 and 14 days after seeding. Pots were arranged in a randomised complete block design with three replications. The method is a modification of Ader's test (Perry, 1981).

f) Seedling growth

For root length, shoot length, seedling fresh weight, root weight, and shoot weight determinations, three replications of ten seeds were planted in single rows in rolled towels that were placed upright at 20°C for seven days. After measuring the shoot and main root of each normal seedling, the caryopses were removed and the seedling fresh weight, root weight, and shoot weight determined. The method is derived from Perry's 1981 seedling growth test.

g) Conductivity

Conductivity (C) of seed leachates, in microSiemens per centimeter per gram, was determined in three replications of 30 seeds after soaking in 150 ml distilled water at 20°C for 24 h. The method is similar to Mattews and Powell's (Perry, 1981). We did not use commercial seed because it was treated, and instead used hybrids CM105 x W64A (check 1) and EZ18o2 x EZ7o2 (check 2).

Statistical analysis

Statistical analyses were performed with the SPSS program (Norusis, 1986), after Bliss' transformation of percentages (Snedecor and Cochran, 1967), in order to have a normal distribution. Analyses of variance, Duncan's multiple range tests, and

correlations were calculated.

RESULTS AND DISCUSSION

Field emergence

These experiments were carried out to find differences in seed vigour under severe conditions that could be used as a check for the indirect methods. Results of field emergence (E%) and emergence index (EI) are presented in Table 1. The experiments carried out in May and October 1988 did not detect real differences in seed vigour between genotypes. This was due to the optimal soil temperatures during the first 10 days after planting, which, measured at 10 cm depth, ranged from 14.5 to 18°C and 14.5-17°C in May and October, respectively. In Table 2 we present the analysis of variance for April 1989.

Table 1.- Field emergence (E%) and emergence index (EI).

	May 88		October 88		April 89					
					14th		21th		28th	
Genotype	E%	EI	E%	EI	E%	EI	E%	EI	E%	EI
EZ19o2	57.8a+	12.8b	70.4bcd	19.9a	10.2 (6)	40.0	42.6	41.0	50.9	33.8
B14dec	51.3a	12.7b	57.1a	14.7bc	25.0 (1)	35.3	25.0	40.0	41.7	31.4
EZ18o2	61.9a	12.8b	60.9abc	20.3a	6.5 (8)	42.4	45.4	39.8	54.6	30.7
EZ7o2	61.2a	12.2ab	58.8ab	18.4ab	20.4 (4)	36.3	20.4	26.9	30.6	34.4
CM105	63.5a	11.6a	62.9abcd	12.6c	23.1 (3)	30.1	32.4	27.0	39.8	29.7
W64A	63.9a	11.5a	55.6a	16.4abc	13.0 (5)	40.0	25.5	32.0	43.5	32.0
check 1	70.3a	11.7a	74.1d	15.4bc	23.4 (2)	32.3	40.7	29.7	60.0	33.4
check 2	61.9a	11.9ab	71.8cd	15.3bc	7.4 (7)	40.1	25.9	37.7	65.7	31.3

+ 1988 means followed by the same letter do not differ significantly at the 0.05 level according to Duncan's multiple range test

Table 2.- Mean squares (MS) for emergence in the field in 1989.

Source of variation	df	E% MS	EI MS
Genotypes	7	36.7	30.6
Planting dates	2	878.6**	54.3*
Error	14	40.9	14.3
CV		18.9	11.0

*, ** Significant at the 0.05 and 0.01 levels of probability

As may be seen, the planting dates are the main reason for the variation, with no significant differences between genotypes. This was mainly caused by the optimal temperatures of

the third planting, which ranged from 13 to 17°C, much the same situation as in 1988. The first two dates, with 9-13°C and 10-13°C were better predictors of seed vigour. As a result we decided to use only the two first planting dates in 1989 as checks of vigour for the indirect methods, having previously confirmed that their EI were homogeneous.

Vigour tests

a) Germination "per se"

The results of the analysis of variance, and means of the different genotypes are presented in Table 3.

Table 3.- Mean squares (MS) and means for standard germination.

Source of variation	df	MS	Genotype	Mean
Genotypes	7	297.8**	EZ18o2	44.7a+
			B14dec	48.2ab
			EZ19o2	51.4ab
Blocks	1	5.8	EZ7o2	52.2b
			check 1	69.3c
Error	7	8.3	check 2	70.1c
			CM105	70.6c
CV		4.8	W64A	75.2c

** Significant at the 0.01 level of probability
+ Means followed by the same letter do not differ significantly at the 0.05 level according to Duncan's multiple range test.

There are differences among genotypes, with a similar ranking as the field emergence under optimal conditions (germplasm bank data and May 88 trial).

b) PEG

There was no difference of using well water instead of distilled water as a dissolvent. The results of the PEG/DW analysis of variance are presented in Table 4, and means of the different genotypes in Table 5. Analyses of variance show significant differences among genotypes and osmotic potentials in germinated seeds (GS) and first leaf seedlings (FLS) percentages. There is little first leaf development excepted for the control. In general, an increase in negative O.P. implies a decrease in GS and FLS. PEG solutions differenciate genotypes better than the control. There is a significant interaction genotype x O.P. in FLS. In spite of the significant differences, the very high CVs does not recommend the use of the FLS test.

c) Salinity

The results of the analysis of variance, including the control, and means of the different genotypes are presented in Table 6. There is less reduction in GS and FLS than in the case of PEG, showing that, at these concentrations, salt is not toxic. There are differences among genotypes in both GS and FLS, but in this

second parameter we found, as in the PEG method, very high CVs.

Table 4.- Mean squares (MS) for the PEG/Distilled Water test. Germinated seeds (GS) and first leaf seedlings (FLS).

Source of variation	df	GS MS	FLS MS
Osmotic potential	4	1334.2**	5578.3*
Blocks	2	212.6*	1336.4
O.P. error	8	40.0	961.3
Genotypes	7	811.0**	694.0**
O.P. x Gen.	28	106.7	171.1**
Gen. error	70	81.0	68.1
CV of O.P.		8.7	100.0
CV of Gen.		12.4	48.8

*, ** Significant at the 0.05 and 0.01 probability levels

Table 5.- Means of the PEG/DW test. Germinated seeds (GS) and first leaf seedlings (FLS).

	GS					FLS				
Genotype	0*	-1	-2	-4	-6	0	-1	-2	-4	-6
EZ19o2	65.8a+	70.5ab	65.5a	51.2a	48.5ab	44.2a	9.3ab	0.0a	0.0a	0.0a
B14dec	66.8a	72.6ab	74.4ab	76.9bc	56.6abc	38.5a	22.9bcd	13.1ab	14.6a	0.0a
EZ18o2	71.7a	73.5ab	76.7ab	60.2ab	43.8a	50.6a	14.8abc	7.7a	11.5a	0.0a
EZ7o2	78.3a	65.9a	71.5ab	75.2bc	68.5cd	49.2a	43.0e	25.9b	15.5a	3.8a
CM105	82.3a	76.7abc	82.3ab	86.2c	61.7bcd	40.1a	17.4abcd	7.7a	18.2a	0.0a
W64A	86.2a	86.2bc	86.2b	71.5bc	57.3abcd	16.2a	3.8a	0.0a	3.8a	0.0a
check 1	80.7a	76.9abc	83.2ab	75.6bc	71.5d	53.2a	27.4cde	13.3ab	3.8a	3.8a
check 2	84.5a	90.0c	83.3ab	81.1c	71.5d	34.7a	32.9de	27.4b	7.7a	0.0a

* 0, -1, -2, -4, -6: osmotic potentials.
+ Means followed by the same letter do not differ significantly at the 0.05 level according to Duncan's multiple range test

Table 6.- Mean squares (MS) and means for the salinity test. Germinated seeds (GS) and first leaf seedlings (FLS).

Source of variation	df	GS MS	FLS MS
Osmotic potential	2	184.9	4145.3
Blocks	2	17.5	856.9
O.P. error	4	43.3	4104.3
Genotypes	7	490.4**	1059.8**
O.P. x Gen.	14	77.0	136.9
Gen. error	42	44.2	131.5
CV of O.P.		8.8	100.0
CV of Gen.		8.9	38.4

Genotype	GS		FLS	
	-2+	-6	-2	-6
EZ19o2	65.8a#	52.3a	29.2a	0.0a
B14dec	73.6ab	71.0b	25.4a	5.5a
EZ18o2	68.6a	70.4b	41.5a	12.7a
EZ7o2	72.8ab	70.4b	49.4a	32.3a
CM105	86.2c	86.2d	41.5a	20.3a
W64A	72.6ab	65.4b	11.5a	0.0a
check 1	82.3bc	82.3cd	33.5a	31.6a
check 2	75.2ab	73.9bc	36.8a	20.2a

** Significant at the 0.01 probability level
+ -2, -6: osmotic potentials
# Means followed by the same letter do not differ significantly at the 0.05 level according to Duncan's multiple range test

d) Low temperature

The results of the analysis of variance, including the control, and means of the different genotypes are presented in Table 7.

Table 7.- Mean squares (MS) and means for the low temperature test.

Source of variation	df	MS	Genotype	Mean
Temperature	1	13137.4**	EZ18o2	15.5a+
Blocks	2	59.5	EZ19o2	25.4ab
Temp. error	2	14.6	EZ7o2	31.8bc
Genotypes	7	1158.9**	B14dec	36.7c
Temp. x Gen.	7	526.2**	check 2	41.5cd
Gen. error	28	58.0	W64A	48.4d
			check 1	71.5e
			CM105	80.7e
CV of Temp.		6.3		
CV of Gen.		12.6		

** Significant at the 0.01 probability level
+ Means followed by the same letter do not differ significantly at the 0.05 level according to Duncan's multiple range test

There are significant differences among genotypes and temperatures. There is also an interaction temperature x genotypes. Duncan's multiple range tests show that the control differenciate genotypes worse than the LT treatment.

e) Gravel emergence

The results of the analysis of variance, and means of the different genotypes are presented in Table 8.

Table 8.- Mean squares (MS) and means for the percentage of gravel emergence.

Source of variation	df	10d MS	14d MS	Genotype	c10d+	c14d	10d	14d
				EZ19o2	67.4ab#	71.9ab	4.3a	48.0a
Genotypes	7	1158.8**	362.3**	B14dec	63.9a	66.3a	59.1c	63.5b
Gravel	1	3858.8**	1134.2**	EZ18o2	69.5ab	73.8ab	58.7c	71.1b
Blocks	2	101.1	91.8	EZ7o2	76.8abc	81.4bcd	43.1b	65.9b
Gen. x Gravel	7	650.8**	107.2	CM105	77.1abc	85.7cd	71.9cd	79.5b
Error	30	53.0	52.7	W64A	85.7c	90.0d	70.1cd	71.6b
				check 1	79.5bc	79.5bcd	78.1d	78.1b
CV		11.2	9.9	check 2	73.4abc	77.1abc	64.7cd	70.1b

+ c10d, c14d: controls of 10d and 14d, respectively
** Significant at the 0.01 probability level
# Means followed by the same letter do not differ significantly at the 0.05 level according to Duncan's multiple range test

There are significant differences for treatments and genotypes. There is a significant interaction gravel x genotypes when emergence was evaluated ten days after seeding.

f) Seedling growth

Analyses of variance showed no significant differences and very high coefficients of variation for seedling growth (from 30 to 80%) to be considered as a valid test.

g) Conductivity

The results of the analysis of variance, and means of the genotypes are presented in Table 9, showing significant differences among genotypes.

Table 9.- Mean squares (MS) and means for the conductivity.

Source of variation	df	MS	Genotype	Mean
			EZ19o2	13.5e+
Genotypes	7	39.8**	EZ7o2	10.3d
			B14dec	7.4c
Blocks	2	1.1	EZ18o2	5.7b
			W64A	5.5b
Error	14	0.6	check 2	4.6b
			CM105	3.2a
CV		11.7	check 1	3.0a

** Significant at the 0.01 level of probability

\+ Means followed by the same letter do not differ significantly at the 0.05 level according to Duncan's multiple range test.

Selection of methods

The results of the correlations of GERM, PEG/DW-GS, SALT-GS, LT, GE, and C with the first April 89 trial index, and the joint two first trials index, are presented in Table 10.

The tests which were not based in the same treatment and correlated the best with I1 were SALT-GS-2, LT%, and SALT-GS-6, and they were also the best predictors of IT. Correlations among GERM, PEG-DW, SALT, LT, GE, and C are presented in Table 11.

Correlation coefficients between the standard germination and the controls of germination and emergence are high as expected. Since many of the tests are not independent, geometric means of tests that were not based on the same treatment, taken three by three, were calculated (Steiner et al. 1989), and correlations between means and indices analysed. We considered the possible combinations among the best single predictors which had a significant correlation with both indices, and we chose the ones which correlated the best, in their turn, to proceed selecting. These correlations are presented in Table 12.

The three more appropriate tests were SALT-GS-2, LT%, and SALT-GS-6, which are also the best single predictors of I1 and IT. McHughen (1987) found in flax (Linum ussitatissimum L.) that increased vigour rised salt tolerance. All three methods have in common that they are stress tests carried out in plastic trays, the seed is placed on a filter paper over a polyurethane foam soaked in the solution, and they evaluate germination percentage.

Table 10.- Simple correlation coefficients between vigour tests and percentages of the control (%) when useful, with the first April 89 trial index (I1) and the joint two first trials index (IT).

Method	Tr.*	I1	IT
GERM		-0.25	-0.49
PEG/DW-GS	0	-0.21	-0.55
	-1	0.24	0.16
	-1%	0.58	0.79
	-2	-0.37	-0.50
	-4	-0.63	-0.67
	-6	-0.49	-0.60
SALT-GS	-2	-0.85	-0.84
	-2%	-0.77	-0.37
	-6	-0.72	-0.70
	-6%	-0.69	-0.45
LT	10#	-0.79	-0.82
	10%	-0.82	-0.82
GE	c10d	-0.10	-0.56
	c14d	-0.13	-0.59
	10d	-0.35	-0.44
	14d	-0.44	-0.59
C		0.30	0.38

* Correlation coefficients ≥0.620 and 0.790 are significant at P=0.05 and 0.01
\+ Treatment level
\# °C

RESUMEN

Con 40 a 50 métodos diferentes disponibles para el testado del vigor de nascencia, son necesarios procedimientos para elegir el mejor método único o combinación de métodos. El objetivo de este estudio era seleccionar los mejores estimadores de emergencia de maíz (Zea mays L.) en condiciones difíciles. Fueron efectuadas trece pruebas de vigor y varios ensayos de campo sobre seis líneas puras y dos híbridos comerciales. Fueron identificados los mejores estimadores únicos calculando simples coeficientes de correlación. El cálculo de la media geométrica de algunos tests de vigor es un procedimiento para utilizar métodos múltiples que estén correlacionados. Teniendo en cuenta todo esto, los métodos que predicen mejor la nascencia en campo fueron el porcentaje de germinación en solución salina a un potencial osmótico (P.O.) de - 2 bares, porcentaje de germinación a 10°C respecto al control y porcentaje de germinación en solución salina a un P.O. de -6 bares.

Table 11.- Correlation coefficients among vigour tests and controls.

Method		PEG/DW-GS					SALT-GS		LT	GE				C
	Tr.	0	-1	-2	-4	-6	-2	-6	10	c10d	c14d	10d	14d	
GERM		0.86*	0.73	0.83	0.56	0.59	0.63	0.44	0.77	0.79	0.76	0.57	0.57	-0.61
PEG/DW-GS	0		0.62	0.87	0.71	0.64	0.65	0.62	0.65	0.86	0.84	0.77	0.81	-0.70
	-1			0.65	0.37	0.40	0.21	0.17	0.29	0.38	0.30	0.49	0.34	-0.54
	-2				0.73	0.51	0.78	0.75	0.79	0.66	0.61	0.92	0.88	-0.90
	-4					0.74	0.83	0.83	0.70	0.36	0.38	0.75	0.72	-0.66
	-6						0.62	0.56	0.58	0.46	0.35	0.46	0.45	-0.09
SALT-GS	-2							0.92	0.94	0.43	0.45	0.71	0.80	-0.70
	-6								0.75	0.32	0.32	0.83	0.90	-0.82
LT	10									0.56	0.55	0.62	0.68	-0.61
GE	c10d										0.95	0.51	0.59	-0.40
	c14d											0.43	0.57	-0.45
	10d												0.94	-0.95
	14d													-0.94

* Correlation coefficients ≥0.620 and 0.790 are significant at P=0.05 and 0.01

Table 12.- Correlation coefficients between the best single vigour tests and combinations, the index of the first April 89 trial (I1), and the joint two first trials index (IT).

Nº	Method	Tr.	I1	IT
1	SALT-GS	-2	-0.85+	-0.84
2	LT	10%	-0.82	-0.82
3		10	-0.79	-0.82
4	SALT-GS	-2%	-0.77	-0.37
5		-6	-0.72	-0.70
6		-6%	-0.69	-0.45
7	PEG/DW-GS	-4	-0.63	-0.67
Combination				
2-5-7			-0.85	-0.83
1-2-5			-0.84	-0.83
1-2-7			-0.84	-0.83
1-3-5			-0.81	-0.83
3-5-7			-0.80	-0.83
1-3-7			-0.79	-0.82
1-5-7			-0.79	-0.74

+ Correlation coefficients ≥0.620 and 0.790 are significant at P=0.05 and 0.01

REFERENCES

Abdullahi, A. and R.L. Vanderlip (1972) Relationships of vigor tests and seed source and size to sorghum seedling establishment. **Agron. J.** 64:143-144.

Association of Official Seed Analysts (1981) Rules for testing seeds. **Proc. Ass. Off. Seed Anal.** 60:1-126.

Ayers, R.S. and D.W. Westcott (1976) Laboratory studies on salt distribution in furrow irrigated soil with special reference to the pre-emergence period. **Soil Sci.** 83:249-263.

Briggs, K.G. and A. Horak (1980) Relationships between wheat seed ATP content, germination and seedling vigor of different spring wheat genotypes. **Can. J. Plant Sci.** 60:1455-1457.

Burris, J.S. and R.J. Navratil (1979) Relationship between laboratory cold-test methods and field emergence in maize inbreds. **Agron. J.** 71:985-988.

Ching, T.M., S. Hedtke, M.C. Boulger, and W.E. Kronstad (1977) Correlation of field emergence rate and seed vigor criteria in barley cultivars. **Crop Sci.** 17:312-314.

Czabator, F.J. (1962). Germination value: an index combining speed and completeness of pine seed germination. **For. Sci.** 8: 386-396.

De Tempe, J. (1963) The use of correlation coefficients in comparing methods for seed vigor testing. **Proc. Int. Seed Test. Assoc.** 28:167-172.

Durrant, M.J., S.J. Brown, and A. Bould (1985) The assessment of the quality of sugar-beet seed. **J. agric. Sci., Camb.** 104:71-84.

Edje, O.T. and J.S. Burris (1970) Seedling vigor in soybeans. **Proc. Assoc. Off. Seed Anal.** 60:149-157.

Gill, N.S. and J.C. Delouche (1973) Deterioration of seed corn during storage. **Proc. Assoc. Off. Seed Anal.** 63:33-50.

Johnson, R.R. and L.M. Wax (1978) Relationship of soybean germination and vigor tests to field performance. **Agron. J.** 70:273-278.

Martin, B.A., O.S. Smith, and M. O'Neil (1988) Relationships between laboratory germination tests and field emergence of maize inbreds. **Crop Sci.** 28:801-804.

Martínez-Cob, A. (1985) Cribado de cultivares de cebada (Hordeum vulgare L.) por su tolerancia a salinidad. Tesis de Master, CIHEAM. España.

McHughen, A. (1987) Salt tolerance through increased vigor in a flax line (STS-II) selected for salt tolerance in vitro. **Theor. Appl. Genet.** 74:727-732.

Michel, B.E. and H.R. Kaufmann (1973) The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. **Plant Physiol.** 51:914-916.

Norusis, M.J. (1986) **Statistical package for the social sciences/PC+**. SPSS Inc., Chic., Illi.

Pandey, D.K. (1988) Electrolyte efflux into hot water as a test for predicting the germination and emergence of seeds. **J. Hort. Sci.** 63 (4):601-604.

Perry, D.A. (1970) The relation of seed vigour to field establishment of garden pea cultivars. **J. agric. Sci., Camb.** 74:343-348.

Perry, D.A. (ed.) (1981) **Handbook of vigour test methods.** Int. Seed Test. Ass., Zurich.

Snedecor, G.W. and W.G. Cochran (1967) **Statistical Methods.** Ed.: Iowa St. Univ. Press. Ames, Iowa. U.S.A.

Steiner, J.J., D.F. Grabe, and M. Tulo (1989) Single and multiple vigor tests for predicting seedling emergence of wheat. **Crop Sci.** 29:782-786.

Tekrony, D.M. and D.B. Egli (1977) Relationship between laboratory indices of soybean seed vigor and field emergence. **Crop Sci.** 17:573-577.

Wayne Smith, C. and J.J. Varvil (1984) Standard and cool germination tests compared with field emergence in upland cotton. **Agron. J.** 76:587-589.

Yaklich, R.W. and M.M. Kulik (1979) Evaluation of vigor tests in soybean seeds: relationship of the standard germination test, seedling vigor classification, seedling length, and tetrazolium staining to field performance. **Crop Sci.** 19:247-252.

Young, J.A., R.A. Evans, R.O. Gifford, and R.E. Eckert, Jr. (1968) Germination of medusahead in response to osmotic stress. **Weed Sci.** 16:364-368.

An. Aula Dei 19(3-4):293-300.

Características descriptivas del patrón ciruelo 'Adara'

por **M.A. MORENO**

Estación Experimental de Aula Dei, ZARAGOZA

Recibido: 30-X-1989

Palabras clave: patrón, ciruelo, características morfológicas, características fisiológicas.

ABSTRACT

Moreno, M.A. 1989. Descriptive characteristics of 'Adara' rootstock plum. **An. Aula Dei 19 (3-4):293-300.**

'Adara' is a rootstock selected at the Estación Experimental de Aula Dei, classified as fast growing plum. It performes well with certain cultivars of cherry and others stone fruit species. Problems may arise with others. It also displays a good vegetative propagation aptitude by hardwood cuttings, and induces a vigorous growth of the scions. 'Adara' allows to grow cherry in irrigated fields.

In the present paper the morphological and phenological characteristics of 'Adara' are described.

INTRODUCCION

La denominación de este patrón durante la fase experimental fue ciruelo '2977 AD', nombre con el que aparece en publicación anterior (Tabuenca y Moreno, 1988). Una vez avanzado su estudio, se le asigna el nombre de ciruelo 'Adara'.

Por sus caracteres morfológicos y fisiológicos, el ciruelo 'Adara' debe incluirse en el grupo de ciruelos denominados por Bernhard y Graselly (1958) de crecimiento rápido. Procede de una población de ciruelos mirobolán (Prunus cerasífera Ehrh.) polinizados libremente.

El buen comportamiento que presenta el patrón 'Adara' con algunas variedades de cerezo y de otras especies, junto a la buena aptitud a la propagación vegetativa por estaquilla leñosa, hacen interesante profundizar en la descripción de sus

* Trabajo financiado por CAICYT, proyectos: 79/3119 y 84/0180; Programa nacional de investigación agrícola, proyecto AGR88-0074, y por CONAI-DGA.

características, siendo éste el objetivo del presente trabajo.

MATERIAL Y METODOS

Su aptitud a la propagación vegetativa por estaquilla leñosa se estudió en 8 ensayos de enraizamiento en cajonera, realizados entre los años 1979-87. Las estaquillas, de aproximadamente 25 cm de longitud, recibieron en su base un tratamiento hormonal con una solución de 500 ppm de ácido indolbutírico (IBA), preparada en una mezcla de etanol-agua, y un tratamiento anticriptogámico con Captan al 10 %. Se plantaron a 10 x 8 cm de separación en cajonera, con sustrato de turba rubia y arena de río al 50 %.

El comportamiento con distintas especies y variedades se ha estudiado tanto en los 10 viveros establecidos desde 1978 hasta 1988, como en las 4 plantaciones en condiciones de regadío en las que el patrón 'Adara' se encuentra injertado con variedades de cerezo y que fueron realizadas dos en el invierno 1979-80, una en 1981-82 y otra en 1982-83 (Tabuenca y Moreno, 1988). Actualmente estas plantaciones están en pleno rendimiento.

Las observaciones relativas a su morfología y fenología se han hecho en plantas madres, desarrolladas sobre sus propias raices para la producción de madera destinada a la confección de estaquillas o dejadas crecer libremente. Estos datos han sido tomados en la Estación Experimental de Aula Dei, durante el trienio 1987-89.

Para la descripción morfológica se han seguido principalmente las indicaciones y caracteres recogidos en las fichas publicadas por la Union pour la Protection des Obtentions Végétales (UPOV) (1977) y la International Board for Plant Genetic Resources (IBPGR) (Cobianchi and Watkins, 1984). También se han tenido en cuenta otras características consideradas por Tydeman (1957) y Cauwenberghe (1946).

RESULTADOS

Propagación

De los 6 estaquillados leñosos en cajonera, establecidos desde 1979-80 hasta 1984-85, se obtuvo un prendimiento medio del 89,9 ± 6,9 %.

En los otoños de 1986 y 1987 se implantaron dos ensayos de enraizamiento para determinar la influencia de la fecha de colocación en cajonera de las estaquillas, utilizando como testigo 'Mirobolan B'. En el primero de ellos (1986), las fechas de estaquillado fueron: 30 de octubre, 21 de noviembre y 12 de diciembre; y en el segundo (1987): 16 de noviembre, 4 y 22 de diciembre.

Como resultado de estos ensayos puede adelantarse que las fechas más favorables para el estaquillado del ciruelo 'Adara', están comprendidas dentro de la segunda quincena de noviembre y primera de diciembre; pareciendo más sensible que el testigo al momento de corte de la madera. Se comprueba igualmente en los resultados, que para estas fechas óptimas no hay diferencias significativas en el porcentaje de prendimiento con respecto al testigo utilizado.

Comportamiento con variedades

La mayoría de las 57 variedades de cerezo y de guindo injertadas en vivero sobre el patrón 'Adara' mostraron un buen comportamiento. No obstante, tuvieron problemas de incompatibilidad localizada las variedades de cerezo 'Napoleon' y 'Taleguera Brillante' y la de guindo 'Montmorency'. Otras variedades de cerezo 'Gil Peck', 'Nero II', 'Larian' y 'Spalding', y la de guindo 'Montmorency de Sauvigny', presentaron anormalidades (Tabuenca y Moreno, 1988).

Se ha observado también el buen comportamiento hasta la fecha (octubre 1989) de variedades de cerezo injertadas sobre este patrón, en las plantaciones en vergel que fueron establecidas en 1979-80 con las variedades 'Ambrunesa', 'Van' y 'Picota', en 1981-82 con las variedades 'Ambrunesa', 'Burlat', 'Hedelfingen', 'Star', 'Star Hardy Giant' y 'Tardive de Vignole', y en 1982-83 con las variedades 'Van' y 'Tardive de Vignole'. Los árboles de estas plantaciones que han alcanzando los 10, 8 y 7 años respectivamente, están dando muy buenos resultados de producción. Hay que mencionar igualmente la buena adaptación del patrón 'Adara' a las condiciones de cultivo en regadío y a los suelos en los que se encuentran ubicadas dichas plantaciones, caracterizados por el alto contenido en caliza activa.

Con melocotonero, es destacable el buen comportamiento de la variedad 'Catherina' y de la nectarina 'Fuzalode'. Se han observado árboles de 7 años.

Estado sanitario

En trabajos realizados en colaboración con R. Gella, del Servicio de Investigación Agraria de la Diputación General de Aragón, se ha visto que el ciruelo 'Adara' está libre de los virus del grupo ILAR (PRSV, PDV y ApMV), del Nepovirus TmRSV, de CLSV y de Sharka (PPV). Se aplicó la técnica inmunoenzimática ELISA.

Caracteres morfológicos y fenológicos

ARBOL

El ciruelo 'Adara' tiene un vigor fuerte, similar al del Mirobolan B, y presenta un porte semierguido, algo más extendido que el de este último patrón.

Injertado con variedades de cerezo da lugar a plantones de vivero vigorosos. Lo mismo sucede con los árboles establecidos en plantaciones.

No tiene tendencia a serpear.

Al principio de la estación de crecimiento, es conveniente pinzar las plantas madre cuando los brotes tienen unos 10-15 cm de longitud, e incluso posteriormente es de interés un segundo pinzamiento de los brotes más vigorosos. Se facilita así un tamaño más uniforme y apropiado de la madera destinada a la confección de estaquillas. Sin embargo, tiene una señalada tendencia a la emisión de anticipados.

Los brotes de un año son de un grosor intermedio, sin pubescencia. El color de los brotes más jóvenes es marrón-rojizo, acentuándose el tono rojizo en la zona más expuesta al sol. En madera

más vieja el marrón tiende a ser más verdoso o grisáceo. En la estación de crecimiento el brote es glabro y con fuerte pigmentación antociánica en su extremo. La yema de madera, abrazada a la rama, es muy pequeña y tiene forma cónica con ápice agudo. El soporte de la yema es pequeño y no decurrente.

FLOR

De acuerdo con los datos medios del trienio 1987-1989, en la Estación Experimental de Aula Dei la floración comienza el 10 de marzo, la plena tiene lugar el 15 y termina el 22 del mismo mes. En las mismas condiciones y años 'Mirobolan B' alcanza dichas fases el 5, 10 y 17 de marzo.

Su flor es rosácea y pequeña. El pedúnculo es fino y tiene una pubescencia muy débil. El receptáculo del botón es poco profundo, tiene vellosidad en su superficie interna y es glabro exteriormente. Los sépalos de la flor abierta están en contacto con el receptáculo y presentan una forma oval ancha. Tienen pubescencia en la base de la superficie interna y también, pero muy ligera, en los márgenes. Los pétalos se hallan ligeramente solapados, son de color blanco, pequeños, ovoides, con una ondulación media-débil del borde y un ángulo de la base grande. El color de las anteras, justo antes de la dehiscencia, es amarillo. La posición del estigma en relación a las anteras es o un poco por debajo o al mismo nivel.

HOJA

El ciruelo 'Adara' tiene las hojas del tipo ciruelo europeo, de crecimiento rápido.

Tienen una forma ovoide ancha. La relación longitud /anchura es 1,41 ± 0,06, inferior a la de 'Mirobolan B' (1,86 ± 0,03). La base es redondeada, en U, y el ángulo del ápice rectángulo o casi rectángulo y cuspidado. El limbo tiene un color verde medio y poco brillo. La pilosidad en el envés es débil y en el haz está ausente o es muy débil. El peciolo con una longitud media de 1,15 ± 0,21 cm, tiene en su lado superior un color púrpura rosado. No se observan glándulas sobre el peciolo ni base de la hoja.

Al comienzo del crecimiento del brote presenta estípulas pequeñas.

El desprendimiento de las hojas es tardío.

FRUTO

Su maduración se produce en torno al 25 de junio. Tiene un tamaño pequeño.

Su forma general de perfil es redondeada y simétrica, con el diámetro máximo hacia la mitad del fruto. La sutura es muy superficial y poco perceptible, pero se acentúa ligeramente en la base del fruto. La piel tiene un grosor medio, es de color amarillo, con ligera reticulación, sin asperezas y ligeramente cubierta de pruina. La carne es de color amarillo, con una firmeza media, no fibrosa, dulce y agradable para comer.

El hueso es pequeño, de un tamaño medio en relación al fruto. Tiene un color marrón claro ligeramente rosado. Visto de perfil (relación longitud/anchura= 1,34 ± 0,07) tiene una forma elíptica - redondeada y asimétrica. Considerando la vista ventral (relación longitud/grosor = 2,08 ± 0,09) tiende a ser sub-globular, simétri-

co y con la máxima anchura hacia la mitad. Las superficies laterales muestran una textura de grano fino, como aterciopelada. No hay sobrecrecimiento de la quilla. Los bordes del surco dorsal no están parcelados y se encuentran soldados o ligeramente separados por una acanaladura muy superficial.

En los cuadros (1, 2 y 3) se recogen las características descritas.

AGRADECIMIENTOS

El autor reitera su agradecimiento a R. Cambra y compañeros de la UEI de Pomología, por la ayuda y colaboración en la realización de este trabajo.

RESUMEN

Por sus caracteres morfológicos y fisiológicos, el patrón 'Adara' debe englobarse dentro del grupo de ciruelos denominados de crecimiento rápido (Bernhard y Grasselly, 1958). Procede de una población de ciruelos mirobolán polinizados libremente y la mayoría de sus características morfológicas y fisiológicas se asemejan a las de un Prunus cerasífera.

Es un clon vigoroso, que permite el cultivo de cerezo en condiciones de regadío. Tiene buena aptitud para la propagación por estaquillado leñoso y buen comportamiento injertado con algunas variedades de especies frutales de hueso, particularmente con cerezo, aunque presenta problemas con otras.

REFERENCIAS

Bernhard, R.; Grasselly, C. (1958). Les pruniers porte-greffes du pecher. **Sta. Rech. Arboric. Fruit. Grande Ferrade:** 75-100.

Cauwenberghe, E. Van. (1946). Sujects porte-greffes pour arbres fruitiers. **Imp. G. Leens. Verviers**, 257-359.

Cobianchi, D. and Watkins, R. (1984). Descriptor list for plum and allied species. **International Board for Plant Genetic Resources.** Commision of european communities. Committee on disease resistance breeding and use de genebanks, 31 pp.

Tabuenca, M.C.; Moreno, M.A. (1988). Incompatibilidad entre Patrón e Injerto. Comportamiento de un ciruelo como patrón de distintas especies frutales. **An. Aula Dei**, 19 (1/2): 251-264.

Tydeman, H.M. (1957). A description and classification of certain plum rootstocks. **Rep. E. Malling Res. Stn. for 1956:** 75-80.

Union Internationale pour la Protection des Obtentions Vegetales (UPOV). (1977). Principes directeurs pour la conduite de l'examen des caracteres distintifs de l'homogeneite et de la stabilite. Prunier Europeen. 14 pp.

Cuadro 1.- Características del árbol, brote y hoja.

Arbol:	
Vigor	Fuerte
Porte	Semierguido
Ramo de un año:	
Actitud	Semierguido
Grosor	Intermedio
Longitud del entrenudo	Corto-medio
Pubescencia	Ausente
Color	Marrón-rojizo
Lenticelas: Número	Pocas
Ditribución	Dispersas
Tamaño	Pequeñas
Color	Marrón claro
Forma	Alargadas
Yema de madera: Tamaño	Muy pequeño
Forma	Cónica
Forma del ápice	Agudo
Posición relativa al brote	Abrazada
Compacidad	Compacta
Color	Castaño oscuro rojizo
Soporte de la yema de madera: Tamaño	Pequeño
Decurrencia	No decurrente
Brote en el período vegetativo:	
Pubescencia	Ausente
Coloración antociánica del extremo	Fuerte
Hoja:	
Actitud	Horizontal
Limbo: Relación longitud/anchura	Media
Forma	Ovoide ancha
Angulo del ápice	Recto o casí recto
Forma del ápice	Cuspidado
Base	Redondeada
Color del haz	Medio
Brillo del haz	Débil
Pubescencia del haz	Ausente o muy débil
Pubescencia del envés	Débil
División del márgen	Dentado
Divisiones secundarias del márgen	A veces
Peciolo: Longitud	Media
Pubescencia del lado superior	Débil
Pubescencia del lado inferior	Muy débil
Profundidad del canal	Media
Número predominante de glándulas	Ninguna
Estípula: Tamaño	Pequeña

Cuadro 2.- Características de la flor.

Flores:			
Número			Abundantes
Diámetro de la corola			Pequeño
Pedúnculo:	Longitud		Media
	Grosor		Fino
	Pubescencia		Presente
	Intensidad de la pubescencia		Muy débil
Cáliz:	Sépalo:	Posición	En contacto con el receptáculo
		Forma	Oval ancha
		Pubescencia de la cara interna	Débil
		Pubescencia de la cara externa	Ausente
		Flores con dobles sépalos	Ninguna o muy pocas
	Receptáculo:	Profundidad	Débil
		Pubescencia de la superficie interna	Presente
		Pubescencia de la superficie externa	Ausente
Pétalos:	Flores con dobles pétalos		Ninguna o muy pocas
	Posición		Ligeramente solapados
	Tamaño		Pequeño
	Forma		Ovoide
	Color		Blanco
	Ondulación del márgen		Débil
	Angulo de la base		Grande
	División del márgen superior		Entero
	Pubescencia de la cara interna		Ausente
	Pubescencia de la cara externa		Ausente
	Pubescencia del márgen		Ausente
Pistilo:	Frecuencia de pistilos suplementarios		Ninguno o muy pocos
	Estigma:	Posición comparada con las anteras	Mismo nivel
	Estilo:	Pubescencia en la base	Ausente
	Ovario:	Pubescencia	Ausente
Estambres:	Posición		Periginea
	Anteras:	Color justo antes de la dehiscencia	Amarillo

Cuadro 3.- Características del fruto.

Frutos:	
Tamaño	Pequeño
Forma general de perfil	Redondeada
Posición del diámetro máximo	Mitad del fruto
Simetría (vista frontal)	Simétrico
Profundidad de la sutura	Muy débil
Regularidad de la sutura	Ligeramente más profunda en la base
Pruina	Presente
Depresión del punto pistilar	Indistinta
Base del pistilo	Persistente
Pubescencia del punto pistilar	Ausente
Pedúnculo: Pubescencia	Presente
Densidad de la pubescencia	Débil
Profundidad de la cavidad del pedúnculo	Débil
Piel: Grosor	Medio
Reticulación	Débil
Rugosidad	Ausente
Color de fondo	Amarillo
Carne: Color	Amarillo
Firmeza	Media
Textura	No fibrosa
Jugosidad	Media
Acidez	Débil
Contenido de azúcar	Medio
Hueso: Tamaño relativo al fruto	Medio
Forma general de perfil	Elíptica-redondeada
Forma en vista ventral	Subglobular
Forma en vista basal	Elíptica-redondeada
Simetría de perfil	Asimétrico
Simetría en vista ventral	Simétrico
Posición de la máxima anchura (vista ventral)	Hacia la mitad
Quilla (de perfil)	Ausente
Textura de las superficies laterales	Grano fino
Fusión de los márgenes de las aristas dorsales	Completa
Fusión de los márgenes de las aristas laterales	Completa
Prominencia de las aristas laterales ventrales	Fuerte
Anchura de la zona ventral	Intermedia
Anchura del final del pedúnculo	Intermedia
Angulo del final del pedúnculo	Recto o casí recto
Forma del final del pistilo	Ligeramente apuntada

An. Aula Dei 19(3-4):301-311.

Una ecuación cinética para calcular la velocidad de disolución de rocas yesíferas en los cauces de la Cuenca del Ebro

Por **A.NAVAS**

Estación Experimental de Aula Dei, ZARAGOZA

Recibido: 10-II-1989

Palabras clave: Velocidad de disolución del yeso, Ecuación cinética de reacción de segundo grado, Aguas superficiales, Cuenca del Ebro.

ABSTRACT

Navas, A. 1989. A kinetic equation to calculate the dissolution rate of gypsiferous rocks in the water courses of the Ebro River basin. **An. Aula Dei, 19(3-4):301-311.**

The present study proposes an equation to calculate the dissolution rate of gypsiferous rocks in ranges of hydraulic and hydrochemical parameters that include the most common conditions in surface waters of the Ebro river basin. This estimation is approached through statistical equations (multiple linear regressions with two or three independent variables) or through physico-chemical equations (first and second-order reaction).

From the six equations proposed, the kinetic of second- order reaction has been selected ($VDY=45.VF(Cs - C)^2$), since it gives an excellent fit between the experimental data and the data calculated for the conditions studied, and mathematically it represents the dissolution process of gypsum most accurately.

INTRODUCCION

El río Ebro exporta de su cuenca anualmente 6.95 millones de toneladas de sales, de ellas y según se deduce de la composición química de sus aguas en Tortosa, 2.95 millones son de yeso (NAVAS, 1988).

De entre los diversos mecanismos por los que el yeso se incorpora a las aguas de los cursos fluviales, se debe incluir la disolución de las litofacies yesíferas que constituyen las paredes del cauce, y en episodios esporádicos, la de los materiales derrumbados sobre él como consecuencia del progresivo descalce de

los escarpes yesíferos.

Para estimar los aportes de yeso producidos en estas situaciones de contacto en los cauces, se planteó la necesidad de buscar una función para calcular la velocidad de disolución del yeso en las condiciones hidráulicas e hidroquímicas mas frecuentes en las aguas superficiales de la red hidrográfica del Ebro y a partir de parámetros que puedan ser fácilmente extraídos de los muestreos y aforos de aguas. El punto de partida lo constituyen los resultados de 54 ensayos de disolución de rocas yesíferas realizados en cursos de agua de la cuenca del Ebro (NAVAS, 1988).

Cinética de la disolución del yeso

La velocidad de disolución del yeso ha sido descrita por una ecuación cinética de primer grado (LIU y NANCOLLAS, 1971; BARTON y WILDE, 1971; KEMPER et al., 1975; KEREN y SHAINBERG, 1981; APPELO et al., 1984), según la cual, la velocidad (dC/dt) con la que el yeso pasa a la solución es función de la diferencia entre la concentración de la solución a saturación, Cs, y la concentración de la solución en un tiempo dado, C. Así, formalmente, la velocidad de disolución de los cristales de yeso queda matemáticamente descrita como:

$$dC/dt = K\,(Cs-C) \qquad (1)$$

donde K es el coeficiente de la velocidad de disolución, que es inversamente proporcional al espesor del plano de difusión existente en la superficie de las partículas de yeso y depende linealmente del área superficial y del coeficiente de difusión del yeso en el plano de solución. JAMES y LUPTON (1978) encuentran que los valores de K dependen de la velocidad, la temperatura y la fuerza iónica de la solución. A su vez, el espesor del plano de difusión es función de la velocidad del agua y de la viscosidad cinemática, la cual puede ser despreciada en el rango de concentración del electrolito normalmente existente en las aguas estudiadas.

El efecto de los iones comunes sobre la concentración del yeso (Cg) que pasa a la solución a partir de la fase sólida, ha sido estudiado por KEMPER et al. (1975) que establecen una forma modificada de la ecuación (1):

$$dCg/dt = K(Cge-Cg) \qquad (2)$$

donde Cge es la concentración de yeso en equilibrio con la fase sólida, es decir, la máxima cantidad de yeso que puede ir en solución.

GOBRAN y MIYAMOTO (1985) estudian el efecto de las especies iónicas presentes en el proceso de disolución y establecen una ecuación de reacción de segundo grado que proporciona una velocidad de disolución constante independientemente de las especies iónicas presentes o de sus concentraciones, según la cual:

$$dC / dt = K2\,(Cs - C)^2 \qquad (3)$$

donde K2 es la constante cinética de segundo grado.

Aplicación de las ecuaciones cinéticas

La velocidad de disolución del yeso se ha cuantificado, a partir de los mencionados ensayos experimentales, por la pérdida de peso producida por unidad de superficie y tiempo, y no a través del incremento de soluto que, de forma proporcional al déficit de saturación en yeso, es aportado a la solución por la fase sólida. Por ello, se ha convenido en la utilización de las ecuaciones (2) y (3) en lugar de sus formas integradas.

En ellas, el coeficiente K de velocidad de disolución, depende directamente de la velocidad de flujo y se expresa como K=K*.VF. De esta forma, el coeficiente de proporcionalidad K* contiene los factores de espesor del plano de difusión y el coeficiente de difusión del yeso en la solución, ambos de difícil determinación en campo, dado que los parámetros de concentración iónica, velocidad de flujo y déficit de saturación en yeso no se pueden mantener constantes, si bien presentan para cada ensayo pequeños márgenes de variación.

Otro factor que incide en la velocidad de disolución del yeso, aunque no se han encontrado datos bibliográficos, es la textura (ALBERTO y NAVAS, 1988), concepto que queda por tanto incluído dentro del coeficiente K*.

Los valores del coeficiente de proporcionalidad K* se han determinado de las dos formas siguientes: a) mediante el cálculo de la media aritmética de los valores K* extraídos de las ecuaciones (2) y (3); b) a través de la estimación del valor de la pendiente (K*) en la regresión lineal -cuya recta pasa por el origen- establecida entre el producto de la velocidad de flujo por el déficit de saturación en yeso y la velocidad de disolución del yeso.

Para la ecuación (2), K* es 102.4 calculado por ajuste lineal y 120.2 por media aritmética. Para la ecuación (3), K* toma los valores de 45.1 y 61.8 en la estimación por ajuste lineal y por media aritmética respectivamente.

K* ha sido seleccionado para adaptarse a todos nuestros datos y dentro de los rangos de las variables contempladas en este estudio, es, aparentemente, una constante general independiente del déficit de saturación en yeso de la solución y de la velocidad de flujo. Su valor puede ser asignado a sistemas en los que las velocidades de flujo estén comprendidas entre 0.2 y 1.2 m/s y el déficit de saturación yeso se sitúe entre 1.33 y 2.59 gL^{-1}.

RESULTADOS Y DISCUSION

La velocidad de disolución del yeso se puede estimar mediante ecuaciones de ajuste estadístico, como son las regresiones lineales de dos o tres variables independientes obtenidas por NAVAS (1988), o alternativamente a partir de ecuaciones físico-químicas, como son las cinéticas de reacción de primer y segundo grado con cálculo del coeficiente de proporcionalidad K* por ajuste lineal o por media aritmética (Cuadro 1).

En nuestro sistema experimental, el rango de variación de la velocidad de flujo y del déficit de saturación en yeso existente, aconseja el cálculo de K* por ajuste lineal, en lugar de por media aritmética, que sólo se puede realizar cuando las citadas varia-

Cuadro 1.- Ecuaciones para la estimación de la velocidad de disolución del yeso.

Regresión lineal múltiple con dos variables independientes

$$VDY = 75.28 + 162.96\ VF - 10.6\ CE$$

Regresión lineal múltiple con tres variables independientes

$$VDY = 154.3 + 137.96\ VF - 17.69\ CE + 35.52\ SATGYP$$

Ecuación cinética de reacción de primer grado. Cálculo de K* por ajuste lineal

$$VDY = 102.36\ VF\ (C_s - C)$$

Ecuación cinética de reacción de primer grado. Cálculo de K* por media aritmética

$$VDY = 120.2\ VF\ (C_s - C)$$

Ecuación cinética de reacción de segundo grado. Cálculo de K* por ajuste lineal

$$VDY = 45.06\ VF\ (C_s - C)^2$$

Ecuación cinética de reacción de segundo grado. Cálculo de K* por media aritmética

$$VDY = 61.81\ VF\ (C_s - C)^2$$

VDY = Velocidad de disolución del yeso ($g/m^2\ h$)
VF = Velocidad de flujo (m/s)
CE = Conductividad eléctrica (dSm^{-1})
SATGYP = Indice de saturación en yeso
C_s = Concentración a saturación del yeso ($g\ L^{-1}$)
C = Concentración en yeso de la solución ($g\ L^{-1}$)

bles sean muy constantes o tengan márgenes de variación muy pequeños.

La comparación entre los resultados de velocidad de disolución del yeso, en g/m²h derivados de la aplicación de las seis ecuaciones propuestas, se presenta en la Figura 1, en la que:

[2] AL = Cinética de reacción de primer grado. K* ajuste lineal
[2] MA = Cinét. reac. primer grado. K* media aritmética
[3] AL = Cinét. reac. segundo grado. K* ajuste lineal
[3] AL = Cinét. reac. segundo grado. K* media aritmética
RLM (2) = Regresión lin. múlt. con dos variables independientes
RLM (3) = Regresión lin. múlt. con tres variables independientes

Al contrastarlas con la recta de regresión ideal en la que y = x, se sugiere que:

1) Las regresiones lineales de dos y tres variables independientes con respecto a las ecuaciones cinéticas de reacción de primer y segundo grado, en las que los coeficientes de proporcionalidad se obtienen por ajuste lineal, subestiman para los valores mas altos de yeso y sobreestiman para los mas bajos. Esta sobreestimación es mas acentuada en las relaciones entre ambas regresiones con la ecuación de reacción de segundo grado.

Los intervalos de mejor ajuste para los dos pares de ecuaciones, se cumplen para valores de velocidad de disolución del yeso comprendidos entre 110 y 270 g/m²h; mientras que con respecto a la ecuación de primer grado, el intervalo de ajuste de mayor validez, está comprendido entre 70 y 270 g/m²h.

2) En las relaciones entre las regresiones lineales de dos y tres variables independientes con las ecuaciones cinéticas de reacción de primer y segundo grado, en las que K* se ha calculado por media aritmética, se observa igualmente sobreestimación para los valores mas bajos, y subestimación para los valores mas altos de velocidad de disolución del yeso, existiendo un mayor rango de variación que el observado con respecto a las ecuaciones cinéticas en las que K* se estima por ajuste lineal.

Estas tendencias de sobre y subestimación, son tanto mas acusadas cuando se considera la ecuación cinética de reacción de segundo grado en lugar de la de primer grado. De esta forma, el intervalo de velocidad de disolución de yeso de ajuste mas óptimo para cada par de ecuaciones se reduce, quedando comprendido entre 50 y 210 g/m²h para las relaciones entre ambas regresiones múltiples con la ecuación cinética de reacción de primer grado, y de 60 a 180 g/m²h si se considera la de segundo grado.

En cuanto a las regresiones entre los valores de velocidad de disolución del yeso obtenidos mediante las dos ecuaciones de ajuste estadístico y entre los derivados de las ecuaciones cinéticas de reacción (Figura 2), se observa que:

3) La relación entre los valores calculados mediante las regresiones múltiples de dos y tres variables, presenta un excelente ajuste, en el que la recta de regresión coincide prácticamente con la recta ideal y = x.

4) La comparación entre los valores resultantes de las ecuaciones cinéticas de reacción de primer y segundo grado (K* calculado por ajuste lineal) presenta un buen ajuste, aunque se observa una ligera sobreestimación para los valores mas bajos de velocidad de disolución del yeso y una subestimación para los mas altos. Esta misma tendencia, aunque con mayor rango de variación, se observa

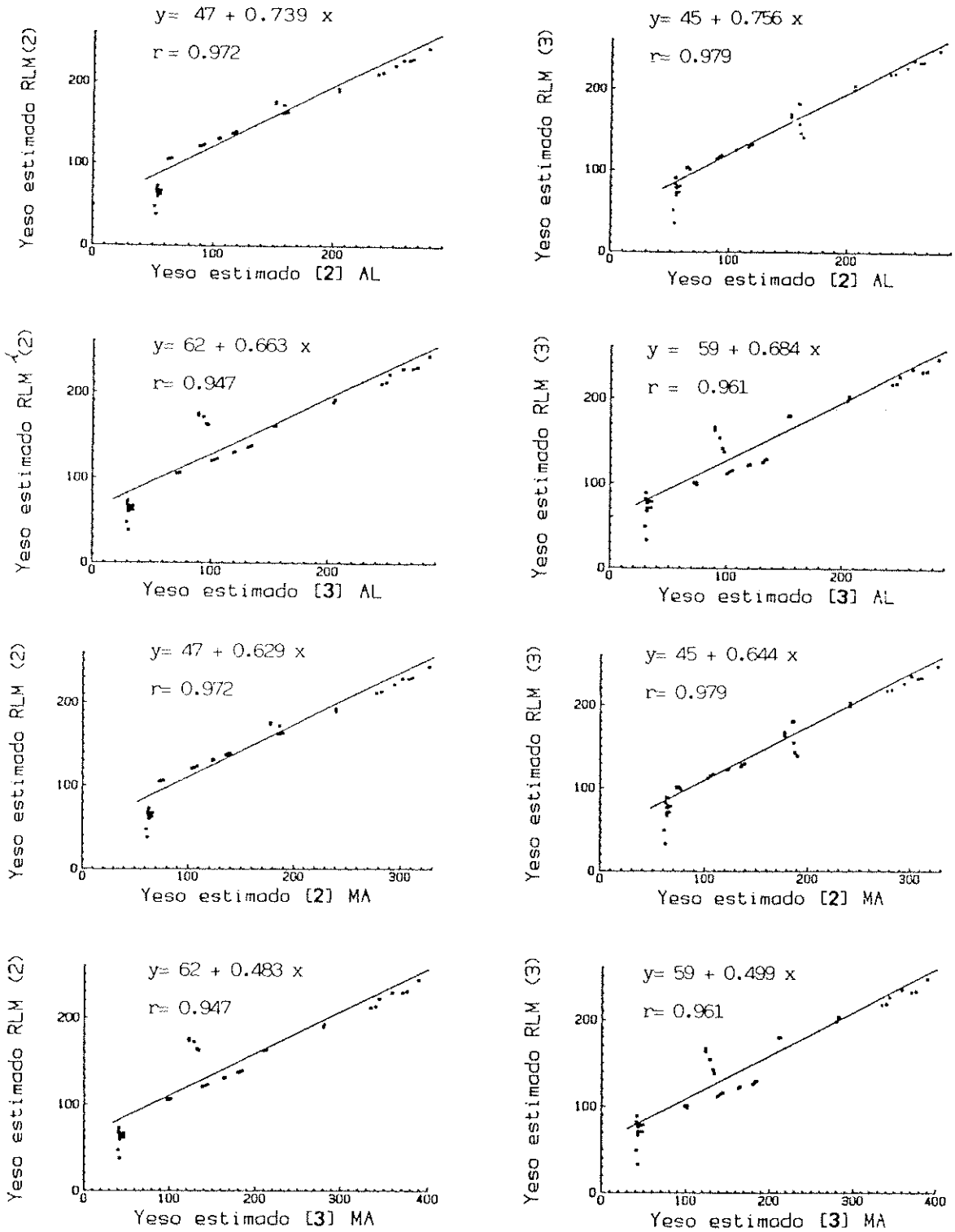

Figura 1.- Regresiones lineales entre los valores de velocidad de disolución del yeso ($g/m^2 h$) estimados mediante las ecuaciones propuestas.

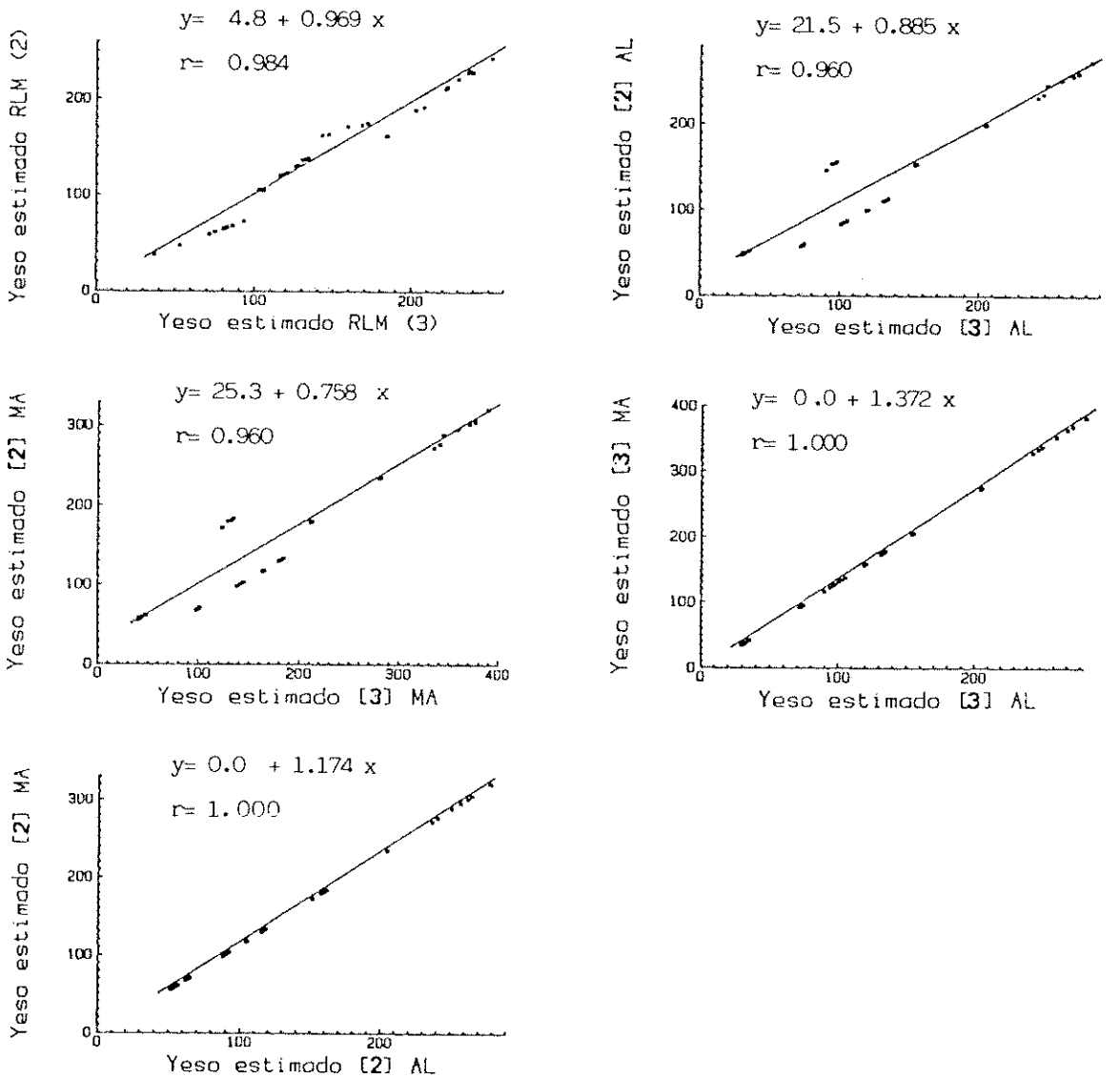

Figura 2.- Regresiones lineales entre los valores de velocidad de disolución del yeso ($g/m^2 h$) estimados mediante las ecuaciones propuestas.

en el caso de K* calculado por media aritmética.
5) La comparación entre los resultados de las ecuaciones cinéticas de reacción de primer grado y segundo grado, según sea el cálculo de K* por ajuste lineal o por media aritmética, presenta, para los dos pares de ecuaciones, buenos ajustes.Sin embargo es evidente la sobreestimación que se produce en ambos casos, al considerar la ecuación en que K* se estima por media aritmética, con respecto a aquella en la que K* se estima por ajuste lineal, siendo aún mas acusada esta diferencia en las ecuaciones cinéticas de reacción de segundo grado.

Todas las ecuaciones se ajustan muy bien a los resultados experimentales, presentando coeficientes de correlación muy elevados como puede apreciarse en la Figura 3, en la que:
[2] AL = Cinética de reacción de primer grado. K* ajuste lineal
[3] AL = Cinética de reacción de segundo grado. K* ajuste lineal
RLM (2) = Regresión lin. múlt. con dos variables independientes
RLM (3) = Regresión lin. múlt. con tres variables independientes

De los buenos ajustes obtenidos, se desprende la dificultad para escoger una sola función que permita estimar la velocidad de disolución del yeso en las condiciones de calidad de las aguas superficiales en la cuenca del Ebro. Para seleccionar la más adecuada, se argumentan las siguientes razones:

Entre las ecuaciones cinéticas de reacción de primer y segundo grado (K* calculado por ajuste lineal), se considera la última como la más idónea, ya que describe mejor el proceso de disolución del yeso en cualquier rango de concentración del electrolito, frente a las limitaciones que en este aspecto plantea la ecuación de reacción de primer grado, que GOBRAN y MIYAMOTO (1985) consideran inapropiada cuando las concentraciones de calcio exceden el 50 % de la solubilidad del yeso.

En cuanto a las ecuaciones de ajuste estadístico, la más apropiada sería la regresión múltiple de tres variables, ya que el porcentaje de la varianza explicada alcanza el 62 %, frente al 59 % en la regresión de dos variables (Cuadro 2).

Cuadro 2.- Resultados de las regresiones lineales múltiples de dos y tres variables independientes. VF: velocidad de flujo (m/s), CE: conductividad eléctrica (dSm^{-1}), SATGYP: índice de saturación en yeso.

Variable dependiente	a	b(VF)	c(CE)	d(SATGYP)	R	F	% varianza explicada
Velocidad de disolución del yeso (g/m^2h)	75.3	163.0	-10.6	-	0.913	128*	59
	154.3	138.0	-17.7	35.5	0.923	103*	62

* significación estadística >99.99%

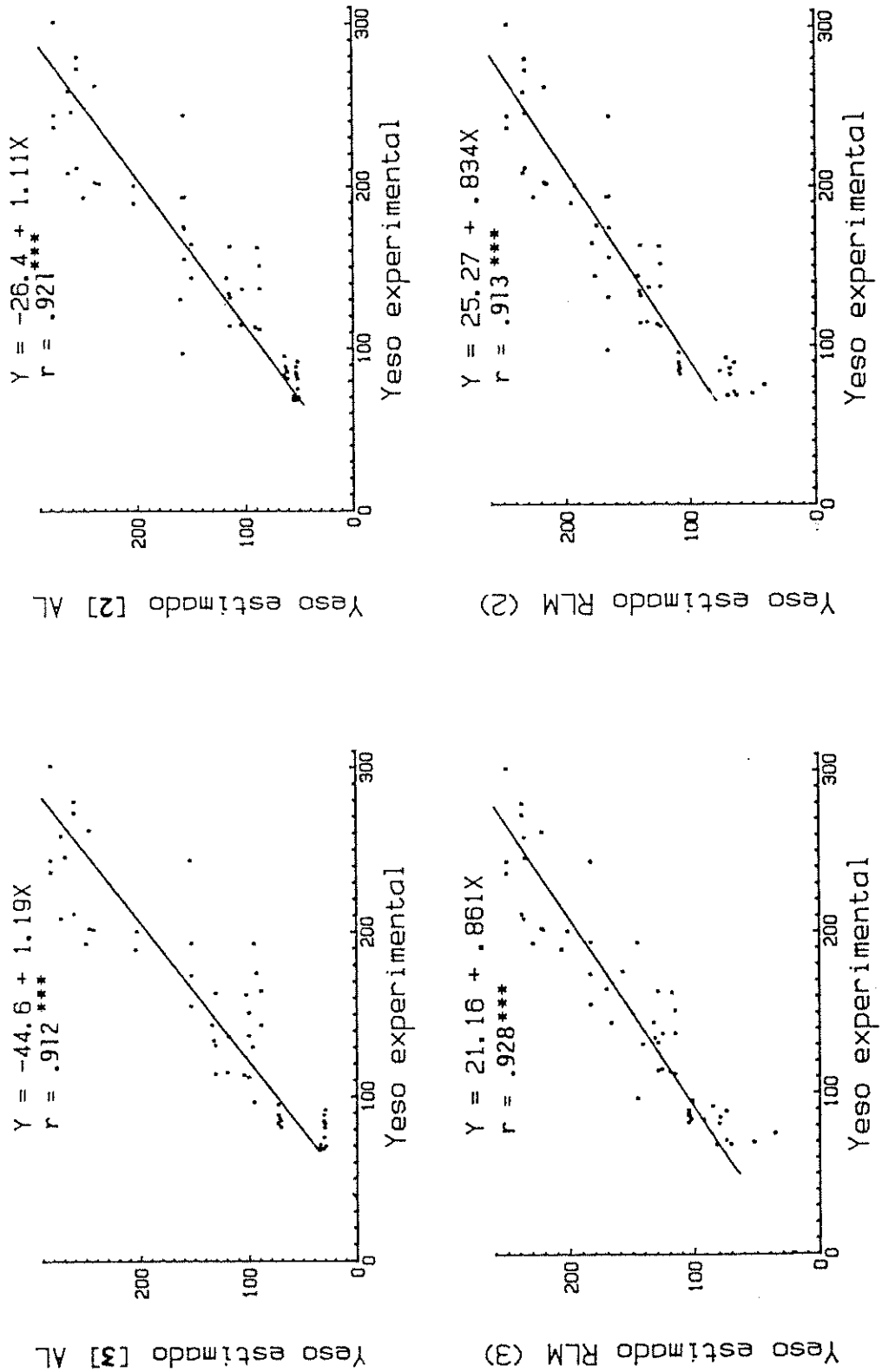

Figura 3.- Regresiones lineales entre los valores de velocidad de disolución del yeso (g/m^2h) estimados según las ecuaciones propuestas y los experimentales.

Por tanto, las funciones mas adecuadas para describir la velocidad de disolución del yeso, son la ecuación cinética de reacción de segundo grado, en la que K* se calcula por ajuste lineal y la regresión lineal de tres variables. De nuevo, la selección de una de ellas es problemática, en tanto en cuanto para ambas la bondad de los ajustes obtenidos es elevada.

La regresión lineal múltiple permite cuantificar la participación de cada una de las variables en el proceso de disolución del yeso, dando una idea de su importancia relativa en el mismo. No obstante, esta ecuación proporciona un valor de velocidad de disolución del yeso distinto de cero (constante de la ecuación), aún cuando las tres variables independientes son cero. En este sentido, el planteamiento matemático de la ecuación cinética de reacción de segundo grado, que asegura un valor de velocidad de disolución del yeso igual a cero cuando alguno de los factores de la ecuación es cero, reproduce más fielmente el proceso físico-químico de disolución.

Este hecho justifica la consideración de la ecuación cinética de reacción de segundo grado como la mas apropiada para describir la velocidad de disolución del yeso en las condiciones de velocidad de flujo, conductividad elétrica y saturación en yeso existentes en las aguas superficiales de la cuenca del río Ebro.

RESUMEN

En este trabajo, se propone una función para calcular la velocidad de disolución de rocas yesíferas en rangos de parámetros hidráulicos e hidroquímicos que comprenden las condiciones mas frecuentes en las aguas superficiales de la Cuenca del Ebro. Esta estimación se aborda mediante ecuaciones de ajuste estadístico (regresiones lineales múltiples de dos y tres variables independientes) o desde ecuaciones físico-químicas (cinéticas de reacción de primer y segundo grado).

De entre las seis ecuaciones propuestas, se ha seleccionado la cinética de reacción de segundo grado ($VDY = 45.VF(Cs-C)^2$, que da un excelente ajuste entre los datos experimentales y los calculados para las condiciones estudiadas, y cuyo planteamiento matemático reproduce mas fielmente el proceso de disolución del yeso.

REFERENCIAS

Alberto, F. y A. Navas. 1988. Incidencia de la textura en la velocidad de disolución de rocas yesíferas. **Revista de la Academia de Ciencias** 43:698-702.

Appelo, A.J.; H.E. Beekman y A.W. Oosterbaan. 1984. Hydrochemistry of springs from dolomite reefs in the southern Alps of northern Italy. In: Hydrochemical balances of freshwater systems. **Proc. Uppsala Symposium.** 1984. Ed. E. Erikson. IAHS-AISH Pub lication 150: 125-138.

Barton, F.M. y N.M. Wilde. 1971. Dissolution rates of polycristal line samples of gypsum and orthorhombic forms of calcium sulphate by rotating disc method. **Transactions of the Faraday Society** 67: 3590-3597.

Gobran, G.R. y S. Miyamoto. 1985. Dissolution rate of gypsum in aqueous salt solutions. **Soil Science** 140:89-93.

James, A.N. y A.R. Lupton. 1978. Gypsum and anhydrite in founda tions of hydraulic structures. **Geotechnique** 28: 249- 272.

Kemper, W.D.; J. Olsen y C.J. Demody. 1975. Dissolution rate of gypsum in flowing water. **Soil Science Society America Prc.** 39: 458-464.

Keren, R. e I. Shainberg. 1981. Effect of dissolution rate on the efficiency of industrial and mined gypsum in improving infil-tration of a sodic soil. **Soil Sci.** 45: 103-107.

Liu, S.T. y G.H. Nancollas. 1971. The kinetics of dissolution of calcium sulphate dihydrate. **J. Inorg. Nucl. Chem.** 33: 2311-2316.

Navas, A. 1988. La participación de los yesos en la salinización de las aguas superficiales de la Cuenca del Ebro. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias. Universidad de Zaragoza. 466pp.

producida por el descalce de su base sometida a la erosión fluvial, favorece el deslizamiento rotacional de grandes bloques que se desligan del conjunto a partir de un sistema de diaclasas siguiendo un plano cóncavo. Presentan perfiles cóncavo-convexos en los que se diferencian tres tramos, uno superior de fuerte pendiente en el que afloran los yesos in situ, otro intermedio de pendiente suave y el inferior con una pendiente de 30 a 40°.

Las vertientes en acantilado se localizan en la Formación Zaragoza a lo largo de la margen izquierda del río Ebro entre Remolinos y Villafranca de Ebro y suponen una fuerte ruptura de pendiente respecto de la llanura aluvial del río, con un desnivel de 80 a 140 m. Si bien es en esta zona donde son más espectaculares, el desarrollo de escarpes similares tiene lugar también en otras áreas donde los cursos de agua se ponen en contacto con litofacies yesíferas masivas, como ocurre en los ríos Ebro, Ega, Arga y Aragón al contactar con las Formaciones Lerín, Falces y Carcar, en los ríos Gállego y Ebro con la Formación Zaragoza, y en los ríos Cinca y Segre con la Formación Barbastro.

En el caso de las formaciones más competentes de yesos interestratificados y diseminados, las vertientes en los contactos presentan perfiles de equilibrio que responden, mayoritariamente, al modelo convexo - recto - cóncavo, aunque también las hay del tipo con talud de derrubios de perfil recto-convexo.

Dada la semejanza de condiciones climáticas y de dinámica fluvial, los procesos morfogenéticos identificados son básicamente similares, si bien el control litoestructural condiciona la intensidad de su desarrollo. Los principales mecanismos implicados son el movimiento de partículas, de masas y de material en disolución.

En el contacto directo con las aguas circulantes, las vertientes en acantilado se han diferenciado en:

a) Rectilíneas que constituyen la pared del cauce sobre las litofacies yesíferas masivas o interestratificadas, horizontales o plegadas.

b) Con talud de derrubios o con banquetas próximas al cauce sobre litofacies yesíferas masivas o interestratificadas, horizontales o plegadas.

Dentro de estos dos tipos se establecen diferencias en función de los elementos que inciden en los mecanismos de aporte de los yesos a las aguas como son:

- La ubicación con respecto al cauce, reconociéndose dos situaciones: a) en el cauce y b) existencia de una pequeña zona de separación con respecto al mismo.
- Los caracteres litoestructurales de los materiales que constituyen la vertiente: a) litofacies yesíferas masivas con estratificación horizontal a subhorizontal, b) litofacies yesíferas masivas con estratos inclinados participando en una estructura plegada cuyo eje es perpendicular al plano de la vertiente, y c) litofacies yesíferas interestratificadas o diseminadas con estratificación horizontal o subhorizontal.
- La aparición a techo de las vertientes de niveles o depósitos competentes no yesíferos (niveles calcáreos o arenosos o depósitos cuaternarios de terraza, glacis o cono de deyección). Su presencia tiende a restringir el desplome de grandes bloques de yeso al dificultar los procesos de activación de diaclasas, y en el caso de que las caídas se produzcan, la acumulación de bloques sobre

los yesos limita su contacto con el agua.

Evolución de las vertientes de yesos en los contactos

Los modelos de LEOPOLD y LANGBEIN (1966) y HICKIN (1977) sobre la hidráulica de flujo en la curvatura de los meandros, específica para cada sección transversal, sirven para teorizar, a partir de las observaciones realizadas en los contactos, sobre el desarrollo de un determinado tipo de vertiente relacionado con una ubicación precisa en el meandro.

Las vertientes en acantilado con talud de derrubios y con banquetas aparecen asociadas a los tramos de meandros situados entre el inicio de la curvatura y el punto de inflexión. En ellas, la acumulación de materiales al pie del talud, ya sea por caída de rocas o por deslizamiento rotacional de grandes bloques, da lugar a un pedimento y a una ralentización de su evolución. En estas situaciones, el agua no contacta directamente con la litofacies yesífera "in situ" sino con los materiales yesíferos del pedimento.

Si la separación del cauce continúa, la incidencia de la dinámica fluvial, condicionante de la intensidad de los procesos morfogenéticos, cesa y las vertientes prosiguen su evolución subaérea fuera de la interacción con el agua. Tiene lugar, entonces, un desarrollo de procesos de transporte y movimiento de partículas de fina granulometría que tapizan los depósitos coluviales preexistentes más groseros regularizando los perfiles.

Las vertientes en acantilado rectilíneas, se ubican en el entorno del eje de curvatura del meandro, donde tiene lugar la máxima asimetría y profundidad de la sección transversal del cauce. La intensidad de la hidráulica del flujo en estos puntos del cauce condiciona su rápido retroceso y su dinamismo evolutivo.

Parece, por tanto, establecerse una estrecha relación entre la tipología de las vertientes y su ubicación dentro de los distintos tramos de los meandros en función de las características hidráulicas del flujo en esta zona, existiendo, por tanto, una relación espacial y temporal con los propios estadios evolutivos de los meandros.

Procesos morfogenéticos en los cauces

El vaciado en disolución de los yesos de la cuenca, como consecuencia de la interacción dinámica fluvial - litofacies yesíferas, es la causa del desarrollo de procesos morfogenéticos y de elementos morfológicos específicos. Especificidad morfológica, quizá, más debida a la frecuencia de aparición y a la dinamicidad de la forma, pero también, a la geometría del trazado y a la morfología de las vertientes.

El análisis de las situaciones de contacto permite agrupar sus efectos en procesos de: meandramiento, encajamiento de meandros y desplazamiento lateral de los ríos.

El meandramiento

En la cuenca del Ebro el trazado sinuoso - meandriforme de los ríos es una de las razones fundamentales de la existencia de situaciones de contacto en los cauces con las litofacies yesíferas.

La peculiaridad de las formaciones yesíferas, por lo que concierne a su papel en el desarrollo y dinámica de los meandros,

debe tomar en consideración los siguientes aspectos: a) que las litofacies yesíferas presentan unas características de resistencia suficientes como para preservar la funcionalidad de los meandros (exigencia planteada por TAILLEFER (1945)), a la vez que su relativa erosionabilidad facilita su rápida evolución; b) que la hidráulica del flujo en los meandros, con su componente de velocidad helicoidal suma al efecto abrasivo, el de disolución que es de mayor importancia relativa; c) que la acción erosiva del meandramiento no produce un aumento de carga, puesto que los materiales erosionados se incorporan fundamentalemnte como sales disueltas.

A este respecto, también cabría invocar los posibles efectos del diapirismo o halocinesis asociados a estas formaciones evaporíticas. Así, en el perfil longitudinal del río Ebro (MESA, 1865) se observan tres zonas ligeramente abombadas, que coinciden con la ubicación de las potentes formaciones yesíferas del centro de la depresión. La primera de ellas está comprendida entre los kilómetros 175 y 204.5 con respecto al origen, correspondiendo a los yesos masivos de Miranda. La segunda se sitúa entre los kilómetros 281.5 y 326 en la zona de las Formaciones Falces y Carcar, en la que se han citado deformaciones tectónicas recientes por movimiento de yesos (BOMER y RIBA, 1962). La tercera zona se localiza entre los kilómetros 454 y 519 de distancia al origen, correspondiendo a la Formación Zaragoza, en la que también se han registrado deformaciones atribuídas a migraciones salinas en la vertical, entre ellas la del "domo" de Remolinos (MANDADO et al., 1984).

En estas tres zonas la situación de la superficie topográfica sobre la línea ideal que uniría los respectivos pares de puntos geográficos, presenta elevaciones medias máximas de 10 a 15 m. La presencia de estos abombamientos, junto con la probabilidad de existencia de basculamientos y deformaciones locales, tanto debidos a la tectónica salina como a procesos de disolución subterránea y colapso subsecuente (VAN ZUIDAM, 1976), podría contribuir significativamente a la rápida dinámica de creación y abandono de meandros, que en estas zonas es particularmente intensa.

El encajamiento de meandros

El encajamiento de meandros se verifica, específicamente, sobre las formaciones de yesos interestratificados y diseminados, por su mayor competencia respecto de las litofacies yesíferas masivas.

THORNBURY (1969) diferencia dos tipos de meandros encajados: los profundizados por rejuvenecimiento y los disimétricos. Los primeros no presentan diferencias en las pendientes de ambas orillas, mientras que los segundos tienen una sección asimétrica de orilla a orilla. Aunque existen varias teorías que explican la génesis de uno u otro tipo, MOORE (1926) atribuye esta asimetría (en el Cañón del Colorado) a las diferentes resistencias de la roca y a la carga transportada.

En el Ebro, los meandros encajados disimétricos se localizan en el área de Sástago y Mequinenza, mientras que los de rejuvenecimiento se instalan en las litofacies más competentes con yesos interestratificados en finos niveles y diseminados del área de Ribarroja.

En el caso de los meandros disimétricos, el contacto directo

con las litofacies yesíferas se suele producir en la orilla cóncava donde el río erosiona, ya que el depósito de materiales en la orilla convexa opuesta le protege de la erosión. No obstante, en épocas de avenida, el contacto puede realizarse a lo largo de ambas orillas y en la zona de inflexión del canal, lugares en los que se produce en el caso de meandros de rejuvenecimiento de ríos fuertemente encajados.

El desplazamiento lateral de los ríos

La observación de la geometría global de los contactos sobre el mapa de la Distribución de las Formaciones con Yesos de la cuenca del Ebro (NAVAS, 1983) pone de manifiesto, localmente, la existencia de un desplazamiento lateral de los ríos en dirección preferencial hacia las litofacies yesíferas, fundamentalmente cuando estas son masivas.

Este hecho ha sido constatado en el Ebro en las proximidades de Alcanadre y Andosilla y entre Alagón y Utebo, en el Arga entre Falces y Funes, en el Aragón entre Funes y Milagro, en el Cinca entre Castejón del Puente y La Almunia de San Juan y en el Segre entre Camarasa y Balaguer.

En el tramo Tudela - Sástago, el lento desplazamiento del río Ebro en una dirección Sureste-Noreste, está evidenciado por la disposición asimétrica de sus terrazas respecto del cauce actual (IBAÑEZ y MENSUA, 1975). Aunque para explicar la génesis de este desplazamiento se han invocado causas tectónicas o estructurales (sinclinal del Ebro, QUIRANTES (1978)), habría que pensar también en los efectos de las litofacies yesíferas.

Para buscar las causas desencadenantes del desplazamiento lateral condicionado por los yesos, es preciso situarse en la etapa de encajamiento y formación del depósito aluvial del río. Entre otras posibilidades cabe señalar las siguientes:

- La ocupación casual por el cauce fluvial, durante un período determinado, de una ubicación inmediata a las formaciones yesíferas.
- La existencia en la margen opuesta al lugar donde se producen los contactos de la desembocadura de algún tributario con el consiguiente aporte sedimentario que vendría a incrementar la resistencia a la erosión de estas orillas. Un efecto similar podría estar ocasionado por la existencia de depósitos de glacis o de cono. Esta podría ser la causa de los contactos producidos en los ríos Arga y Aragón con las Formaciones de yesos masivos de Falces, Lerín y Carcar (desembocadura del Aragón en el Arga), en el Ebro con la Formación Lerín (desembocadura del río Linares) y con la Formación Zaragoza (desembocadura del río Jalón).

Una vez establecido el contacto de los yesos con las aguas circulantes, hay que considerar la facilidad de encajamiento del cauce que estos materiales propician por su solubilidad, y que, localmente, está favorecida por la intercalación en el paquete evaporítico de sales más solubles que el yeso. Ello conduce a la aparición de basculamientos y colapsos que favorecen la persistencia del discurrir preferente del río en una orilla. Esta causa podría ser invocada para explicar los contactos observados en el tramo del río Ebro comprendido entre Alagón y Utebo.

Las condiciones de relativa facilidad para la migración aguas abajo de los meandros, impuestas por la propia naturaleza de las litofacies yesíferas, favorecen la generación de numerosas situa-

ciones de contacto de rápida evolución en el tiempo, lo que determina el desplazamiento lateral del río y, en consecuencia, la linealidad por tramos de las vertientes en acantilado.

CONCLUSIONES

Como consecuencia de la interacción entre las litofacies yesíferas y la dinámica fluvial, se constata una asociación directa entre la tipología de las vertientes en los contactos y su ubicación en tramos concretos de los meandros. Las vertientes en acantilado rectilíneas se ubican en el entorno del eje de curvatura del meandro donde la dinámica fluvial es más activa, lo que determina su rápido retroceso. Las vertientes en acantilado con talud de derrubios y con banquetas, elementos que condicionan su evolución más ralentizada, se sitúan entre el inicio de la curvatura y el punto de inflexión del meandro. A partir de ellas, si el alejamiento del cauce continúa, prosiguen su evolución subaérea.

A nivel general, se podría invocar como causa inmediata de la producción y mantenimiento de los contactos directos,la migración lateral de los ríos en dirección preferencial hacia las litofacies yesíferas masivas, cuyas causas desencadenantes -además de las puramente estructurales o casuales- podrían deberse a la relativa facilidad de encajamiento del cauce sobre los materiales yesíferos. Ello propiciaría la persistencia del discurrir preferencial del cauce, ya que su acción erosiva no supone un aumento de carga, puesto que los materiales erosionados se transportan como sales disueltas. En otros casos, esta situación viene favorecida por el aporte sedimentario de afluentes en la margen opuesta al lugar donde se producen los contactos, con el consiguiente incremento de su resistencia a la erosión en esa orilla.

En esta rápida dinámica de creación y abandono de meandros, las formaciones evaporíticas centrales juegan un papel preeminente, tanto por su propia naturaleza como por los efectos de abombamiento por halocinesis o de basculamiento por disolución de los yesos infrayacentes, favoreciendo la generación de numerosas situaciones de contacto de rápida evolución en el tiempo, lo que condiciona la migración lateral del río y la linealidad por tramos de las vertientes en acantilado.

RESUMEN

En este trabajo se analizan las implicaciones geomorfológicas derivadas de la interacción entre las litofacies yesíferas y las aguas circulantes en los cauces de la cuenca del Ebro. En ellos, los principales efectos atañen al desarrollo y encajamiento de los meandros y al desplazamiento lateral de los ríos.

Se ha constatado una estrecha relación entre la tipología de las vertientes en los contactos y su ubicación en tramos concretos de los meandros, donde la incidencia de la dinámica fluvial configura su modelado y evolución.

Las litofacies yesíferas se han identificado como causantes de la ocurrencia de numerosas situaciones de contacto, cuya rápida evolución en el tiempo determina la linealidad por tramos de las

vertientes en acantilado.

REFERENCIAS

Alberto, F.; M. Gutiérrez; M.J. Ibáñez; J. Machín; J.L. Peña; A. Pocovi y J. Rodríguez. 1984. El Cuaternario en la Depresión del Ebro en la Región Aragonesa. Cartografía y síntesis de los conocimientos existentes. Universidad de Zaragoza. E.E. Aula Dei. 217 pp.

Bomer, B. y O. Riba. 1962. Deformaciones recientes por movimientos de los yesos en Villafranca de Navarra. I. Coloquio Int. sobre. D.P. en los terrenos yesíferos. t.V:13- 22. Madrid - Zaragoza - Sevilla.

Hickin, E.J. 1977. Hydraulic factors controlling channel migration. In: Proc.5th Guelph Symposium, Davidson-Arnott and Nickling (eds) Geo-Abstracts. Ltd. Norwich. Eng. 59-66.

Ibáñez, M.J. y S. Mensua. 1975. Los valles asimétricos de la orilla derecha del Ebro. **Actas II Reunión Nac. G.T.C.** 113-122. Jaca.

Leopold, L.B. y W.B. Langbein. 1966. River meanders. **Sc. Am.** 15:60-70.

Mesa de, P.A. 1865. Reconocimiento hidrológico del Valle del Ebro. Junta General de Estadística. 128 pp. Madrid.

Mandado, J.; J.Rodríguez Vidal y J.M. Tena. 1984. La disolución de rocas evaporíticas: Un importante factor geomorfológico en el Valle del Ebro. **Cuadernos de Investigación Geográfica** I. Coloquio sobre procesos actuales en geomorfología. X: 139-148.

Moore, R.C. 1926. Origin of inclosed meanders on streams of the Colorado Plateau: significance of inclosed meanders in the physiographic history of Colorado Plateau Country. **Jour. Geol.** 34 (1-2): 29-57, 97-130.

Navas, A. 1983. Las litofacies yesíferas de la Cuenca del Ebro. Síntesis cartográfica y consideraciones sobre su papel en la Planificación Territorial. Tesis Master. IAMZ. 239 pp.

Pellicer, F.; M. T. Echevarría y M. J. Ibáñez. 1984. Procesos actuales en el escarpe de yesos de Remolinos. **Cuadernos de Investigación Geográfica** I. Coloquio sobre procesos actuales en Geomorfología. t X: 159-168.

Quirantes Puertas, J. 1978. Estudio Sedimentológico y Estratigráfico del Terciario Continetal de los Monegros. Institución Fernando el Católico (CSIC) de la Exma. Dip. Prov. de Zaragoza. 207 pp.

Taillefer, F. 1945. Profil d'equilibre et trace d'equilibre. Meandres et divagation des rivieres. **Rev. Geogr. des Pyr. et du Sudoest** :202-233.

Thornbury, W.D. 1969. Principles of Geomorphology. Wiley. New York. 594 pp.

Van Zuidam, R.A. 1975. Geomorphology and Archaeology- evidences of interelation at historical sites in the Zaragoza region, Spain. **Z. fur Geomorphol.** 19:319-328. Berlin - Stuttgart.

Van Zuidan, R.A. 1976. Geomorphological development of the Zaragoza region, Spain. **Int. Inst. of Aerial Survey and Earth Sc., ITC** 211 pp.

An. Aula Dei 19(3-4):321-333.

Incorporación de los yesos a las aguas circulantes en el contacto directo en los cauces de la Red Hidrográfica del Ebro

Por **A. NAVAS**

Estación Experimental de Aula Dei, ZARAGOZA

Recibido: 10-III-1989

Palabras clave: Litofacies yesíferas, Aguas circulantes, Mecanismos de incorporación, Cauces, Aportes, Cuenca del Ebro.

ABSTRACT

Navas, A. 1989. Incorporation of gypsum to the flowing waters trough direct contact in the stream channels of the Ebro river basin. **An. Aula Dei 19(3-4):321-333.**

In the Ebro river basin and for the water courses with discharges over 15 m^3/s, the total number of direct contacts between gypsiferous lithofacies and flowing waters is 50 extending 22 km. In these situations, the incorporation of gypsum to the channels takes place either by dissolution or as particulate material. According to the slope type and its evolution stage, different patterns concerning the occurrence and magnitude of the contributions can be observed. As a total, this incorporation has been estimated around 321.000 tons per year, representing 11% of the total gypsum transported by the Ebro river at Tortosa.

INTRODUCCION

En la depresión del Ebro, la sucesión de ciclos sedimentarios con una importante sedimentación evaporítica, condujo a la progresiva colmatación de la cubeta desde el Eoceno hasta el Mioceno terminal. A finales del Terciario, probablemente en el Plioceno, se inició el exorreismo y drenaje de la depresión hacia el Mediterráneo.

La observación del mapa de la "Distribución de las Formaciones con Yesos en la Cuenca del Ebro" (NAVAS, 1983) y del modelado actual de la depresión, sugiere la magnitud de la masa de yesos que ha sido transportada por el río Ebro y sus afluentes, a lo largo de este período de vaciado y excavación. Actualmente, el proceso de excavación y encajamiento de la red fluvial continúa,

si bien con menor energía que en algunas épocas anteriores; pero como en ellas, todo el yeso se exporta disuelto en las aguas del Ebro.

De entre los diversos mecanismos por los que los yesos se incorporan a las aguas superficiales, los aportes puntuales están representados por las situaciones de contacto (permanente o temporal) de los yesos con las aguas circulantes. El objetivo del presente trabajo es la realización de un inventario de tales situaciones de contacto para, a continuación, proceder a una cuantificación de aportes que permita establecer la participación relativa de este mecanismo en el total de la masa de yesos exportada al mar.

Inventario de contactos

De una primera consideración de la cartografía de las formaciones yesíferas, se constató que las posibilidades de contacto entre las aguas circulantes y las litofacies yesíferas se extendían por más de 700 km de cursos de ríos de cierta importancia, cifra que se hacía mucho mayor si se consideraban los cauces funcionales en la cuenca. Sopesando características tales como que los contactos más representativos se producían en ríos importantes, y que es en ellos donde también se concentra la información complementaria -pero necesaria- de caudales y calidad de agua, se estableció un límite de importancia en las zonas de contacto a estudiar más detalladamente.

Así, los ríos considerados fueron aquellos de caudal medio anual superior a 15 m^3/s, entre los cuales se incluyen el Ebro, Ega, Arga, Aragón, Jalón, Gállego, Cinca, Segre, Noguera Ribagorzana y Noguera Pallaresa. Otra variable a considerar fue la litológica, de modo que únicamente se estudiaron los contactos en los que los yesos son masivos; o bien, cuando siendo interestratificados su participación en el afloramiento es importante, requiriéndose además, en el caso de los yesos interestratificados con baja participación en el depósito, y en el de los diseminados, que el contacto se prolongue al menos durante un kilómetro.

La metodología seguida para la realización del inventario y descripción de los contactos yeso-agua ha sido la siguiente:

1.- Localización de zonas de posibles contactos en los mapas de Síntesis Cartográfica de las Litofacies Yesíferas, 1:200.000 (NAVAS, 1983), y en los del M.G.N.E. (1:50.000) y del M.T.N.E. (1:50.000).

2.- Verificación y estudio fotointerpretativo en foto aérea (1:33.000, 1:18.000).

3.- Recopilación en una ficha descriptiva de la identificación, localización geográfica y ubicación del contacto en la red hidrográfica, además de los caracteres de la litofacies yesífera, del régimen fluvial y de la descripción del contacto.

El número total de contactos directos yeso-agua inventariados es de 50. No se incluyen los del río Ebro en los embalses de Mequinenza y de Ribarroja, que totalizan 200 km (ambas márgenes), en razón de que la velocidad de circulación de las aguas y los fenómenos de sedimentación y oleaje son muy diferentes de los que tienen lugar en los cauces naturales, por lo que en conjunto constituyen un problema específico.

Por provincias su distribución es la siguiente:

PROVINCIA	RIO	CONTACTOS	LONGITUD m
Huesca	Cinca	2	350
Huesca	Gállego	10	5600
Lérida	Segre	1	200
Logroño	Ebro	1	360
Navarra	Ebro	3	1635
Navarra	Ega	10	1953
Navarra	Aragón	7	3100
Navarra	Arga	3	1700
Zaragoza	Ebro	6	5440
Zaragoza	Gállego	7	1600

Por ríos el total en metros es el siguiente: Arga, 1700; Aragón, 3100; Cinca, 350; Ebro, 5440; Ega, 1953; Gállego, 7200; Segre, 200. En conjunto, en la cuenca suman 21938 m. las situaciones de contacto litofacies yesífera-agua circulante cuya ubicación geográfica se recoge en la Figura 1.

Los ríos en los que se localizan los contactos son sinuosos y meandriformes. En esta panorámica morfológica, su geometría en planta resulta de la interacción entre la hidráulica de flujo y los materiales del cauce, que produce contactos mayoritariamente curvilíneos y normalmente asociados a la convexidad de la corriente, aunque también, en menor medida, se localizan en la concavidad de la corriente; ello, únicamente en el caso de meandros encajados sobre litofacies yesíferas interestratificadas.

Agrupados por ríos, la geometría en planta de los contactos es la siguiente:

RIO	APICE DE LA CURVA			POINT-BAR	INFLEXION
	CONTACTO				
	Total	Curvo	Recto		
Ebro	10	7	3	-	-
Cinca	2	2	-	-	-
Gállego	17	16	1	-	-
Segre	1	1	-	-	-
Ega	10	8	1	-	1
Arga	3	3	-	-	-
Aragón	6	4	2	-	-

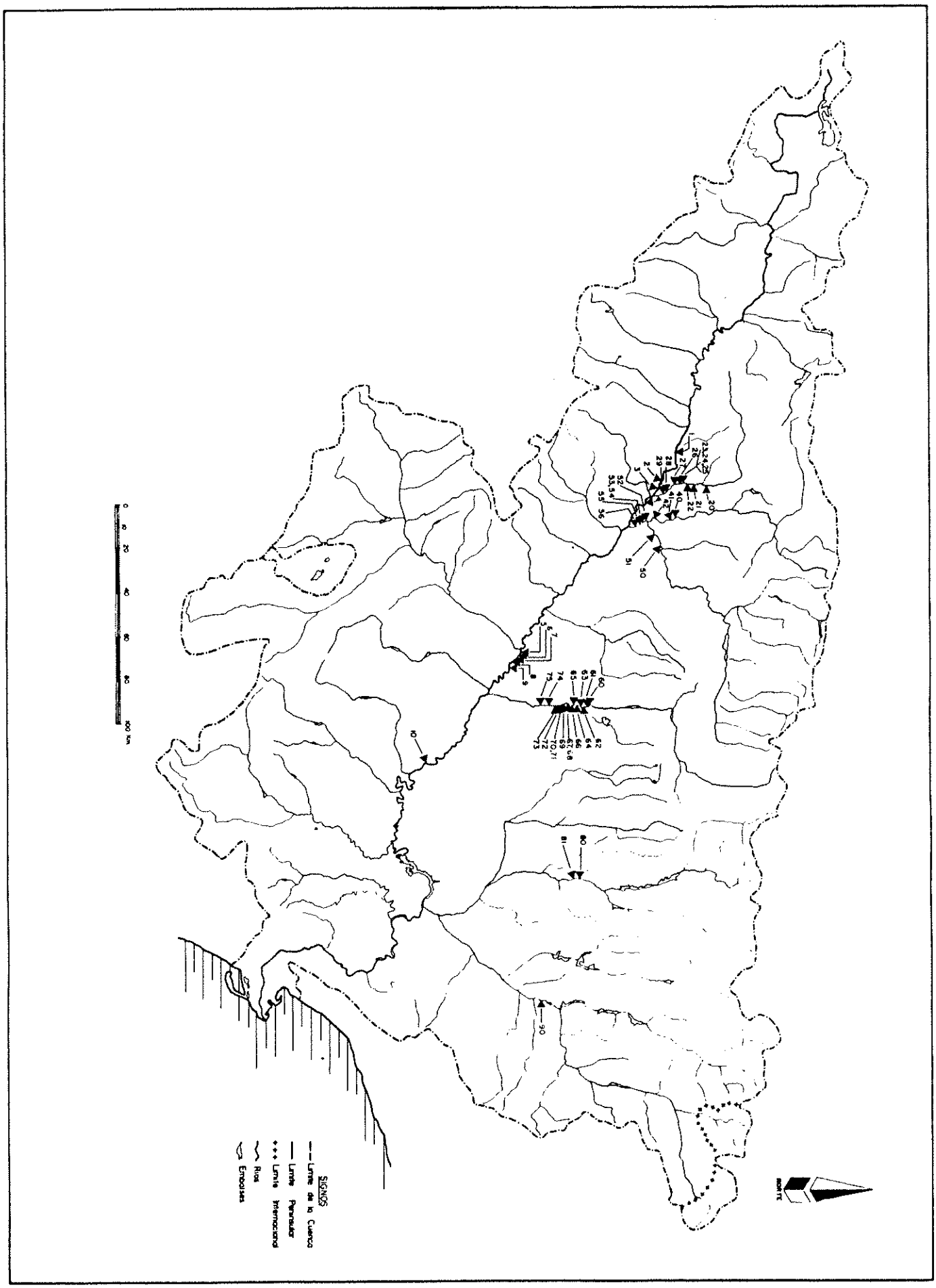

Figura 1.- Emplazamiento de los contactos directos litofacies yesífera-aqua circulante en la Cuenca del Ebro.

Procesos de incorporación del yeso a las aguas circulantes y su cuantificación

Por disolución directa o en forma particulada, cantidades importantes de yeso del contacto pasan a incorporarse a las aguas superficiales que lo transportan en disolución, suspensión o como carga de fondo, y en las que finalmente acaba disolviéndose.

De entre todas las situaciones de contacto, las más activas en incrementar la concentración salina de las aguas se localizan en los puntos de contacto de la vertiente de yesos con el ápice de la curvatura del meandro.

Dentro de cada tipo de vertiente, la evolución en el tiempo de los aportes -para todas las demás condiciones constantes- sigue unas pautas diferentes de participación relativa. Estas vertientes pueden encontrarse en distintos estadíos evolutivos (NAVAS, 1989), lo que condiciona a su vez la eficacia de la agresión de las aguas a los yesos y en consecuencia afecta a la masa disuelta.

La disolución directa

La ecuación que describe la velocidad de disolución del yeso en condiciones naturales puede formularse del siguiente modo:

$$VDY = f\ (Hq, Hf, S, G)$$

en la que Hq corresponde a la hidroquímica del sistema, Hf se refiere a la hidráulica de flujo, S representa la geometría del contacto y G hace referencia a factores sedimentológicos, petrológicos y mineralógicos.

Para adaptar esta ecuación a las condiciones de campo, ha sido preciso analizar los componentes de cada una de las variables independientes; ello, por su variabilidad espacio-temporal y por la imposibilidad de medir u obtener todos los datos que se requieren en cada una de las situaciones de contacto.

La limitación de uso de una ecuación de este tipo, radica en que es preciso determinar la forma de relación entre las variables. Para un determinado rango de cada una de ellas, la relación con la velocidad de disolución del yeso se ha establecido mediante la ecuación cinética de reacción de segundo grado:

$$VDY = 45.VF(Cs-C)^2 \text{ (NAVAS, 1989).}$$

Respecto a la hidroquímica del sistema y para cada una de las situaciones de contacto estudiadas, el déficit de saturación en yeso se obtiene por la diferencia entre el valor de la concentración a saturación (Cs) y el de la concentración en la solución (C), calculado a partir de la media del índice de saturación en yeso para el período hidrológico 1972-1985. Los valores medios de estos parámetros se han estimado a partir de las series analíticas de aguas (MOPU, 1972-85), correspondientes a la estación de la red de calidad de aguas del Ebro (red COCA) más próxima a cada contacto. Estas se sitúan aguas arriba (Ebro en Mendavia, 120; Aragón en Caparroso, 5), o abajo del mismo (Ega en Andosilla, 3; Arga en Peralta, 4; Cinca en Monzón, 228; Segre en Balaguer, 96; Ebro en Zaragoza, 11; Ebro en Sástago, 112). Se ha evitado la consideración de estaciones en las que la incorporación de aportes laterales desvirtúe su composición respecto de la del contacto. En determinados puntos, ha sido preciso recurrir a la estimación de la composición iónica resultante de la mezcla de aguas (Arga en Peralta, 4 + Aragón en Caparroso, 5).

En cuanto al componente hidráulico, y ante la imposibilidad de cuantificar adecuadamente este parámetro por medida directa o conseguir bibliográficamente índices de su variación relativa para cada punto concreto del meandro, se ha tomado como valor de velocidad (VF) el del valor medio de la sección (datos de velocidad media correspondientes a la sección más próxima al contacto obtenido por MESA (1865) en épocas de bajos caudales). Se asume que este valor puede estar infravalorado en el eje de curvatura y ligeramente sobrevalorado en tramos rectilíneos largos o en las proximidades al punto de inflexión.

Respecto de la geometría del contacto, el problema que se plantea es la estimación de su superficie real, dada su variabilidad espacio-temporal.

Por un lado, es preciso considerar la variación de área que se produce por las fluctuaciones de caudal. Para tener una idea aproximada de esta variación, se ha calculado la altura correspondiente a los caudales mínimo y máximo, para el período hidrológico 1970-1985, en la tabla de gastos de la estación de muestreo más próxima al contacto (Cuadro 1). La imposibilidad de conseguir datos de espesor del contacto en una época determinada, nos ha llevado a estimarlo en un metro; y ello, por dos razones: la primera porque todos los ríos considerados tienen un caudal medio superior a los 15 m^3/s, lo que condiciona la existencia de secciones con una profundidad próxima a 0.5 m. (MORISAWA, 1984), y la segunda porque los datos de MESA (1865), para bajos caudales, dan como profundidad media de la sección, en muchas estaciones, valores situados entre 0.20 y 2.50 m.

Por otro lado, la estimación de la superficie real del contacto requiere la consideración de un factor de corrección (Fs), relacionado con el incremento de área que supone la configuración espacial del contacto a escalas macro, meso y microtopográfica, en función de la tipología de las vertientes. Este factor se ha estimado para cada uno de los contactos a partir de la comparación de la configuración de la forma de su superficie con respecto a distintos trazados sinusoidales. Previamente se ha medido el incremento de longitud que se produce al transformar curvas sinusoidales de distinta frecuencia de onda en líneas rectas y a continuación se ha realizado la abstracción a las tres dimensiones del espacio.

Para las vertientes en acantilado rectilíneas, a escala macrotopográfica es preciso considerar la linealidad del contacto en la horizontal y en la vertical. La sinuosidad del mismo en los dos planos queda representada por un factor de multiplicación que toma valores de 1 a 1.5. A escala mesotopográfica, la existencia de planos de estratificación, de diaclasas o fracturas y de intercalaciones de material de distinta naturaleza supone un incremento de la superficie de contacto, representada por un factor de multiplicación de 1 a 1.5. A escala microtopográfica, la textura de la roca por lo que concierne al tamaño de los cristales, la existencia de poros, microfisuras, la interposición de matriz o cemento, constituyen elementos que incrementan la superficie expuesta. En este caso, el factor de multiplicación considerado esta comprendido entre 1 y 1.4.

Por tanto, el factor de corrección de la superficie real (Fs) que se obtiene de multiplicar los correspondientes factores asig-

Cuadro 1.- Datos de oscilación de la altura de la lámina de agua para máximos y mínimos caudales, y de anchura y profundidad media de secciones de ríos próximas a los contactos yeso- agua.

ESTACION	AFOROS C.H.E.				MESA (1865)		
	Caudal m^3/s		Altura m		Caudal m^3/s	Anchura m	Profundidad m
	máximo	mínimo	máxima	mínima			
Ebro (120)	206.30	56.25	-	-	-	-	-
Ebro, Calahorra	-	-	-	-	30.170	87.0	0.66
Ebro (2)	518.00	76.47	3.44	1.97	-	-	-
Ebro, Tudela	-	-	-	-	45.230	83.0	1.58
Ebro, (11)	500.00	70.59	2.08	0.85	-	-	-
Ebro, Zaragoza	-	-	-	-	28.320	94.0	0.99
Ebro (112)	500.00	82.35	-	-	-	-	-
Ebro, Mequinenza	-	-	-	-	41.096	102.0	2.51
Ega (3)	27.86	2.86	0.75	0.17	-	-	-
Ega, Andosilla	-	-	-	-	2.030	12.2	0.22
Arga (4)	113.24	19.12	1.65	0.65	-	-	-
Arga, Funes	-	-	-	-	3.300	21.5	0.19
Aragón (5)	150.00	19.44	1.90	0.95	-	-	-
Aragón, Funes	-	-	-	-	4.980	48.6	0.25
Gállego (209)	-	-	-	-	-	-	-
Gállego, Zuera	-	-	-	-	17.710	40.8	0.43
Gállego (89)	-	-	-	-	-	-	-
Gállego, Zaragoza	-	-	-	-	9.090	38.0	0.32
Cinca (228)	-	-	-	-	-	-	-
Cinca, Monzón	-	-	-	-	45.730	86.3	0.80
Segre (96)	87.86	11.43	1.57	0.84	-	-	-
Segre, desembocadura	-	-	-	-	92.260	71.5	2.15

nados a cada una de las escalas, puede alcanzar un máximo de 3.15 veces la superficie inicialmente medida.

En las vertientes con talud de derrubios y con banquetas, el incremento máximo de la superficie respecto de la inicialmente medida es de hasta 4.2 veces, ya que a escala macrotopográfica, la existencia de bloques en el talud o las propias banquetas pueden incrementar el factor de multiplicación hasta 2.

Los aspectos sedimentológicos considerados se refieren al tipo de depósito y a la dominancia del yeso, habiéndose diferenciado tres tipos: masivos, interestratificados y diseminados. Para obtener la superficie real de contacto, se evalúa el porcentaje de yesos en el depósito que se multiplica por el factor de superficie correspondiente.

RESULTADOS

En razón del incremento de superficie en contacto que suponen los distintos tipos de vertientes, el orden creciente de la contribución de yeso por disolución es el siguiente: vertiente en acantilado rectilíneo < vertiente con banquetas < vertiente con talud de derrubios < vertiente con talud de derrubios de evolución subaérea.

Agrupados por ríos, los aportes de yeso disuelto producidos en los contactos directos litofacies yesífera - agua circulante se recogen en el Cuadro 2.

Cuadro 2.- Aportes de yeso disuelto en los contactos litofacies yesífera-agua circulante.

RIO	CONTACTOS	LONGITUD	SUPERFICIE REAL	VELOCIDAD DISOLUCION		APORTE
	nº	m	m^2	g/m^2h	t/m^2año	t/año
Arga	3	1700	5317	147	1.3	5497
Aragón	7	3100	9877	134	1.2	11166
Cinca	2	350	756	209	1.8	1383
Ebro	10	7435	25052	120	1.1	26907
Ega	10	1953	5116	206	1.8	9239
Gállego	17	7200	20806	147	1.3	36572
Segre	1	200	437	424	3.7	1621

Los aportes de materia particulada

Sumándose a los aportes por disolución, la incorporación de yeso en partículas a las aguas, en las que acaban disolviéndose, contribuye de forma importante a la salinización de las mismas. La incorporación de esta materia particulada, bien como consecuencia de los procesos de disolución o de procesos independientes asociados a la evolución de las vertientes y de otras unidades geomorfológicas situadas topográficamente sobre ellas, puede llegar a superar la masa de yeso aportada por disolución directa.

Situaciones típicas del primer caso son los desprendimientos de bloques producidos por el descalce de las vertientes. Estos desprendimientos son de carácter esporádico y su frecuencia se ajusta a la velocidad del proceso de disolución. Los otros procesos, entre los que se incluyen los de movimientos de partículas y de masas, tienen mayor frecuencia y su participación se distribuye en el tiempo.

Del análisis pormenorizado del comportamiento de ambos grupos de mecanismos de incorporación de materia particulada, se constata una asociación directa dominante con el tipo de vertiente.

Vertientes en acantilado rectilíneas

Estas vertientes se sitúan hacia el eje de curvatura del meandro. Dependiendo de la litoestructura del material y, fundamentalmente, del sistema de diaclasas (espaciado y densidad), pueden diferenciarse -respecto a la continuidad de aportes- en dos grupos: vertientes en que, mientras se mantiene el contacto con el agua, su perfil de equilibrio es rectilíneo, y aquellas otras que en idéntica situación de contacto, su perfil rectilíneo representa una situación transicional, pero de gran persistencia, hacia o desde la vertiente con talud de derrubios o con banquetas.

Las primeras presentan un sistema de diaclasas denso y regular asociado a una litología de yesos en estructura hojosa. Los aportes continuados y regulares al cauce en forma de partículas pequeñas, cantos y pequeños bloques se producen por caída de rocas, escorrentía superficial y reptación del suelo.

En este tipo de vertiente, los aportes de yeso particulado son proporcionales a la masa de yeso del acantilado y a la velocidad de descalce de su base por disolución, lo que condiciona la rapidez de su evolución.

Las vertientes del segundo grupo, presentan litologías de yesos en bancos potentes o si están finamente estratificados, aparecen a su vez plegados, lo que les confiere una gran estabilidad. Las redes de diaclasas son menos densas y el aporte de materiales al cauce se efectúa de modo esporádico, con grandes o medianas avalanchas producidas por descalce de la base de la vertiente. Otros mecanismos que contribuyen a la incorporación de yeso, si bien con menor intensidad que el tipo de vertiente anterior, son la caída de rocas, el transporte por escorrentía y la haloclastia.

Cuando el socavamiento de la base desestabiliza el paquete suprayacente, el desplome del escarpe produce la acumulación de bloques en el talud. El espaciado de diaclasas condiciona el ritmo temporal y la magnitud relativa de cada episodio de desplome. Estos procesos ralentizan la evolución de estas vertientes respecto de aquellas cuya red de diaclasas es muy densa.

El aporte de yesos se calcula considerando la masa que

corresponde al volumen constituido por el retroceso anual de su base, la longitud del contacto y la raíz cuadrada de la altura de la vertiente, como expresión geométrica del efecto de la acumulación de bloques en el talud que ralentiza el socavamiento de la base de la vertiente y en consecuencia impide el desplome de bloques.

Vertientes en acantilado con talud de derrubios

Respecto del cauce, estas vertientes se ubican normalmente fuera del eje de curvatura del meandro. La incorporación de partículas al cauce tiene dos procedencias: a) a partir del escarpe y de otras áreas que le dominan topográficamente (vales, otras vertientes), b) a partir de los materiales que constituyen el talud de derrubios. De esta segunda fuente (y sincrónicamente al proceso de disolución) se va incorporando material particulado de variada granulometría hasta pequeños bloques, que proceden del propio frente de disolución e incluso del escarpe del pie del talud.

Tras la formación del talud, el escarpe recién creado sigue evolucionando y los materiales que de él se desprenden (por caída de rocas, escorrentía superficial y reptación del suelo y del canchal) se ubican sobre el mismo, siguiendo pautas sedimentológicas de gradación negativa. La secuencia de incorporación del yeso sigue un frente de retroceso paralelo al perfil de la vertiente. El desprendimiento esporádico de grandes bloques queda limitado por la acumulación de éstos en el talud, lo que impide la agresión de la corriente sobre la base de la vertiente y, en consecuencia, ralentiza su evolución.

La cuantificación del aporte de yeso se realiza a través de la estimación del retroceso anual del talud por la altura del mismo y la longitud del contacto, previa estimación del porcentaje de yeso en él.

Vertientes en acantilado con banquetas

Estas vertientes se ubican en cualquier situación respecto del meandro. Los aportes de yeso en partículas son de menor cuantía que en el caso de las vertientes con talud de derrubios. Por el estado de fracturación del material, parece poco probable la ocurrencia de desprendimientos de partículas de mediano o pequeño tamaño. Materiales finos y de tamaño de cantos y pequeños bloques originados por reptación del suelo, transporte por escorrentía y caída de rocas, podrán ser incorporados a la corriente cuando ésta alcance su cota en avenidas o momentos de aguas altas. A expensas de la propia banqueta, el descalce de su base puede provocar desplomes esporádicos de grandes bloques o incluso nuevos deslizamientos rotacionales.

El aporte de los yesos se calcula considerando la masa que corresponde al volumen constituído por la raíz cuadrada de la altura de la banqueta, el retroceso anual de su base y la longitud del contacto.

Vertientes con talud de derrubios de evolución subaérea

Cuando estas vertientes vuelven a ser abrasionadas, su comportamiento en el aporte de yeso particulado se asemeja, en algunos aspectos, al de las vertientes en acantilado rectilíneas. Al no estar consolidados los materiales, éstos se desprenden sobre

el cauce siguiendo un frente de retroceso paralelo al perfil de la vertiente. Los grandes bloques o las banquetas que pueden haber quedado fosilizadas por los materiales mas finos interrumpen el proceso. Suplementan a los mecanismos anteriores, el aporte de partículas por escorrentía y la reptación del suelo y del canchal.

La cuantificación del aporte de yeso se realiza multiplicando el retroceso de la base de la vertiente por la altura del talud y la longitud del contacto.

Se podría afirmar que, a igualdad de todas las otras condiciones, esta es la vertiente que más rapidamente retrocede y que por disolución, suspensión o arrastre aporta más yeso a las aguas.

La cuantificación de los aportes de yeso particulado en cada una de las situaciones específicas, ha requerido un análisis detallado de aspectos que influyen en el transporte de los yesos a las aguas circulantes y entre los cuales se encuentran: la masa de yeso en la vertiente, la velocidad de retroceso de su base, y el riesgo y frecuencia de los desprendimientos.

En el Cuadro 3 se recogen los resultados de tales estimaciones junto con el aporte total de yeso incorporado a las aguas, tanto por disolución directa como en partículas, y el porcentaje que éste representa respecto de la masa de yesos transportada en el tramo correspondiente de cada río.

Cuadro 3.- Aportes de yeso en forma particulada en los contactos litofacies yesífera-agua circulante.

RIO	CONTACTOS	RETROCESO FRENTE	APORTE PARTICULADO	APORTE TOTAL DISUELTO + PARTICULADO	PORCENTAJE SOBRE EL YESO TRANSPORTADO
	nº	m/año	t/año	t/año	
Arga	3	0.37	11834	17331	10
Aragón	7	0.44	61129	72296	-
Cinca	2	0.79	11898	13282	13
Ebro	10	0.45	42741	69648	3
Ega	10	0.78	45335	54574	73
Gállego	17	0.56	40435	77007	70
Segre	1	1.60	14848	16469	9

Se constata, por tanto, la mayor cuantía frente al mecanismo de aporte de yesos por disolución directa del realizado en partículas, que supone porcentajes comprendidos entre el 61 y el 90 %,

respecto de la masa total de yeso incorporada a las aguas en los contactos.

Para el conjunto de la cuenca, los aportes anuales de yeso producidos en los contactos por disolución directa suponen 92000 t, los realizados en forma particulada 228000 t. En total son 321000 t que representan el 11% de los yesos transportados por el río Ebro en Tortosa.

CONCLUSIONES

En la red hidrográfica del Ebro, la prospección de los 50 contactos yeso-agua inventariados, ha puesto de manifiesto que la incorporación de los yesos a las aguas circulantes se verifica por disolución o en forma particulada, y según la tipología de la vertiente y su estadio evolutivo se observan pautas diferentes en la ocurrencia y magnitud de los aportes.

Por disolución y en función de la superficie expuesta, las vertientes que más yesos aportan son las de talud de derrubios de evolución subaérea. En cuanto a la incorporación en forma particulada, el desprendimiento de grandes bloques, que se produce de forma esporádica y cuya frecuencia se ajusta a la velocidad del proceso de disolución, se asocia a las vertientes con talud de derrubios y con banquetas. Los movimientos de partículas y de masas, de mayor frecuencia, son característicos de las vertientes con talud de derrubios de evolución subaérea y de las vertientes en acantilado rectilíneas y con banquetas.

RESUMEN

En la red hidrográfica del Ebro y para cursos fluviales de caudal superior a 15 m^3/s, el número total de contactos directos entre las litofacies yesíferas y las aguas circulantes es de 50 y se extienden a lo largo de 22 km. En estas situaciones, la incorporación de los yesos a los cauces se verifica por disolución o en forma particulada, y según la tipología de la vertiente y su estadío evolutivo se observan pautas diferentes en la ocurrencia y magnitud de los aportes. En conjunto, esta incorporación se ha estimado en 321000 toneladas al año que representan el 11 % del total de yesos transportados por el río Ebro en Tortosa.

REFERENCIAS

Navas, A. 1989. Una ecuación cinética para calcular la velocidad de disolución de rocas yesíferas en los cauces de la cuenca del Ebro. **An. Aula Dei** 19(3-4): 301-311.

Navas, A. 1989. Implicaciones geomorfológicas del contacto en los cauces entre litofacies yesíferas y las aguas circulantes en la Cuenca del Ebro. **An. Aula Dei** 19(3-4): 313-320.

Mesa, P.A. 1865. Reconocimiento hidrológico del Valle del Ebro. Junta General de Estadística. 128 pp. Madrid.

M.O.P.U. 1972-1985. Análisis de la calidad de aguas. Red Oficial del M.O.P.U. Dirección General de Hidráulica. Madrid.

Morisawa, M. 1984. Rivers. Ed. K.M. Clayton. Longman Group Ltd. London. 222 pp.

Navas, A. 1983. Las litofacies yesíferas de la Cuenca del Ebro. Síntesis Cartográfica y consideraciones sobre su papel en la Planificación Territorial. Tesis Master Sc. I.A.M.Z. 239pp.

An. Aula Dei 19(3-4):335-343.

Una metodología experimental para el estudio del transporte de solutos y sedimentos por la escorrentía superficial sobre suelos calcáreos y yesíferos

Por **A. NAVAS**

Estación Experimental de Aula Dei, ZARAGOZA

Recibido: 21-III-1989

Palabras clave: Metodología experimental, Solutos, Sedimentos, Escorrentía, Suelos yesíferos, Suelos calcáreos, Lluvia simulada.

ABSTRACT

Navas, A. 1989. An experimental methodology to study solute and sediment transport by runoff on calcareous and gypsiferous soils. **An. Aula Dei 19(3-4):335-343.**

The present paper proposes an experimental methodology to study solute and sediment transport by runoff. As starting point, the selection of factors with largest effect on the process is required. Application of simulated rainfall on 1.25 x 1.25 m plots lasts for 15 minutes. To determine the effect of edaphic and biotic factors, a sequence of experiments is carried out on each plot. Determination of hydrochemical and sedimentological parameters in runoff samples provides reliable results to analyse generation of solutes and sediments from calcareous and gypsiferous soils incorporated to runoff.

INTRODUCCION

El estudio en campo de aspectos del comportamiento de la escorrentía superficial en el transporte de solutos y sedimentos bajo lluvias naturales, presenta la dificultad de su análisis debido al gran número de factores que simultáneamente intervienen en el proceso. Entre los que hacen referencia a las características del terreno se pueden ennumerar los siguientes: compactación del suelo, cobertura vegetal, disposición estructural y tectonización de los materiales, pendiente del terreno, microtopografía y longitud, tipo de suelo, textura y estructura, la existencia de anisotropía y el estado de humedad inicial. En el otro grupo de

factores que definen las características de las precipitaciones destacan, fundamentalmente, su intensidad y duración, así como la turbidez, conductividad, temperatura y pH del agua de lluvia.

En condiciones naturales y en el ámbito climático de la depresión media del Ebro, el primer problema que se plantea es la propia ocurrencia de la lluvia y el momento adecuado de su aparición. Si a ello añadimos la posibilidad de seleccionar el emplazamiento más idóneo para realizar el estudio, y el poder actuar experimentalmente sobre los factores que intervienen en el proceso, ya sea suprimiendo aquellos cuyos efectos se interfieren, o lo que es mejor aún, fijándolos según nuestro interés, se comprenderá la utilidad del estudio en parcelas experimentales sometidas a lluvia simulada.

El objetivo del presente trabajo es la elaboración de una metodología experimental para el estudio del transporte de solutos y sedimentos por la escorrentía superficial sobre parcelas de pequeño tamaño (1.25x1.25 m) de suelos yesíferos y calcáreos, utilizando técnicas de simulación de lluvia (NAVAS, 1988).

Esta metodología se desarrolla en varias fases que incluyen la caracterización de la parcela experimental, las series de experimentación y la determinación de parámetros hidroquímicos y sedimentológicos en las aguas de escorrentía (Figura 1).

Caracterización de la parcela experimental

El procedimiento seguido para la caracterización de la parcela experimental es el siguiente:

1) Selección del tipo de suelo y de los niveles de variabilidad de los factores a estudiar.
2) Descripción morfológica de la parcela.
3) Cuantificación de la pendiente (p), rocosidad (R) y cobertura vegetal (V). La pendiente se determina con clinómetro, y en caso de existir variaciones locales de la misma se promedian los valores obtenidos. Para la cuantificación de la rocosidad se marcan las piedras y rocas expuestas en superficie sobre una lámina de plástico transparente que cubre la superficie de la parcela. El porcentaje de rocosidad se determina por recorte y pesada de las superficies correspondientes. La cuantificación del porcentaje de cobertura vegetal se realiza por medida directa.

Series de experimentación en cada parcela

Las intensidades de lluvia simulada a aplicar sobre las parcelas son de 48 y 58 mm/h. Estos valores han sido seleccionados por ser representativos de las precipitaciones máximas de 15 minutos de duración, con un período de retorno de 10 años y una probabilidad de ocurrencia del 90 %, correspondientes a episodios tormentosos producidos en la depresión media del Ebro.

En cada parcela el primer experimento se realiza sobre suelo seco y con intensidad de precipitación de 48 mm/h (SCV). Se prosigue la simulación (manteniendo constantes las demás condiciones experimentales) con alternancia de intensidades de precipitación de 58 y 48 mm/h -por este orden- para las condiciones sucesivas de suelo húmedo con vegetación (HCV) y sin vegetación (HSV). En las parcelas que presentan en superficie un cubrimiento homogéneo de líquenes, y tras su supresión y lavado superficial, se realizan dos ensayos más (HSL).

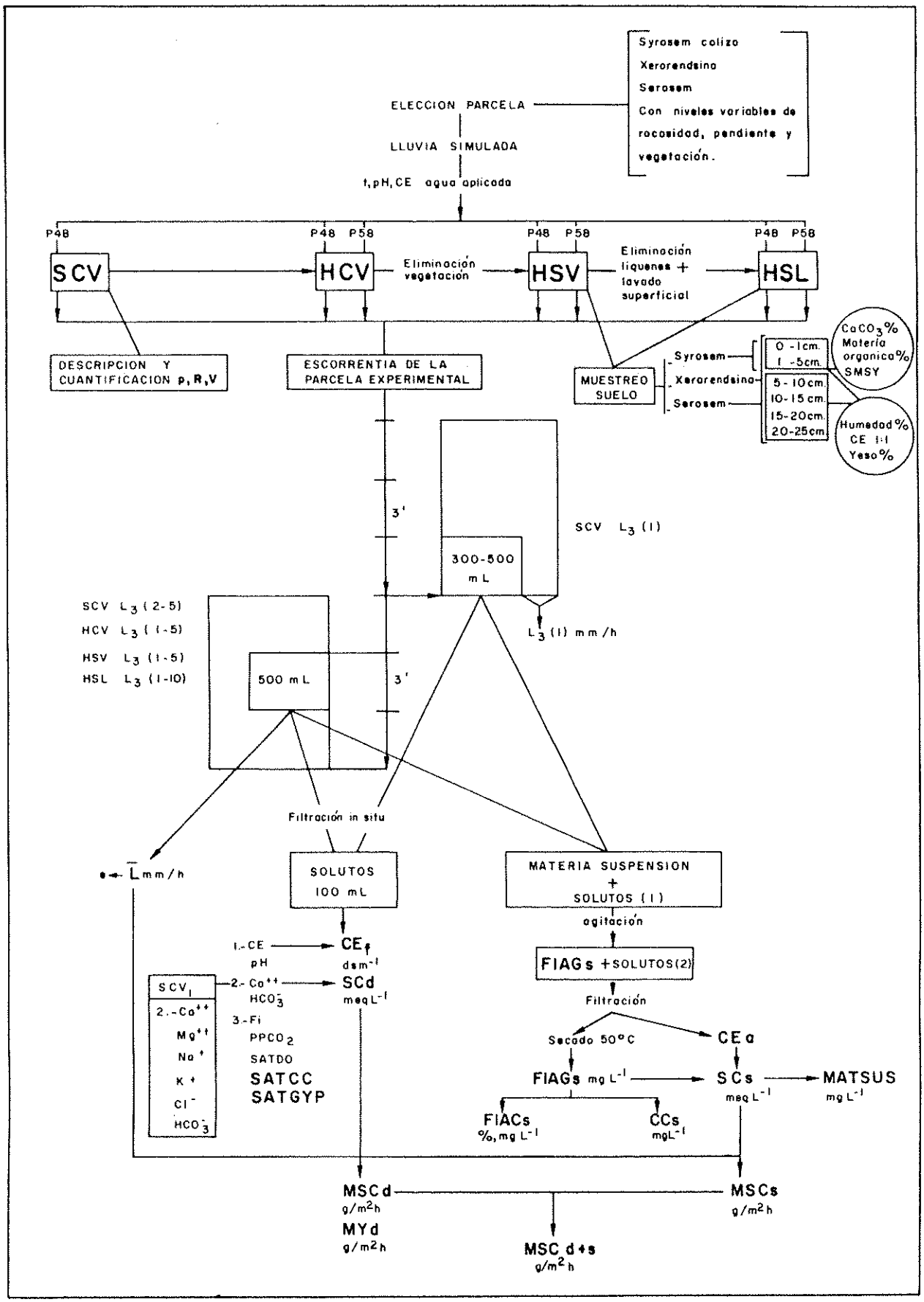

Figura 1.- Metodología para el estudio del transporte de solutos y sedimentos por la escorrentía superficial sobre suelos yesíferos y calcáreos.

La aplicación de lluvia simulada, con una distribución homogénea sobre la superficie de la parcela, se prolonga durante 15 minutos. Este período de tiempo se ha seleccionado de acuerdo a la duración media de los acontecimientos tormentosos de similar intensidad en el área, y también según lo propuesto por MEYER (1965), BRYAN (1968) y PONCE (1975) sobre el tiempo de experimentación con lluvias simuladas para el estudio de procesos similares. Además, se han considerado otras razones tales como minimizar el consumo de agua y poder completar las series de experimentación sobre cada parcela en una misma jornada, con objeto de evitar otras causas de variación que podrían invalidar la experimentación. En parcelas HSL el tiempo de aplicación de lluvia simulada es de 30 minutos. El intervalo entre experimentos es de 10 minutos.

Se utiliza agua desionizada y al inicio del experimento se mide la temperatura, pH y conductividad eléctrica (CE) del agua aplicada.

La distribución de toma de muestras y medida de la escorrentía se realiza a intervalos de 3 minutos, lo que totaliza 5 muestras por ensayo (10 en parcelas HSL) con un volumen de 500 mL. La muestra correspondiente al minuto mitad del intervalo se reserva para las determinaciones analíticas de parámetros químicos y sedimentológicos. En parcelas SCV, la primera muestra de cada experimento recoge el agua de escorrentía desde su inicio, en razón de la existencia de un pico de máxima salinidad (PONCE, 1975).

A continuación, se procede al filtrado in situ de 100 mL de cada una de las muestras. El volumen restante se reserva para el control del material transportado en suspensión. Al final de cada ensayo se controla el volumen total de agua aplicado.

Finalizadas las series de experimentación en cada parcela, se muestrea el suelo. Puesto que la generación de solutos y sedimentos es un fenómeno superficial, se recomienda muestrear el primer centímetro cada 2 mm, para proseguir a intervalos de cinco centímetros, hasta los 25 cm de profundidad.

En las muestras de suelos se realizan las siguientes determinaciones: CE (1:1) (dSm^{-1}), porcentaje de humedad (50° C) y porcentaje de yeso. Sobre los dos primeros horizontes muestreados (0-1, 1-5 cm de profundidad) se determinan los porcentajes de carbonato cálcico y materia orgánica y la CE (1:1) en cuatro lavados sucesivos, para determinar semicuantitativamente la existencia de otras sales más solubles que el yeso (SMSY)

Para establecer la relación entre los componentes de la matriz del suelo y los solutos y sedimentos transportados por la escorrentía, se determinan: a) el índice yeso/carbonato en suelos [I(Y/CC)], que es el cociente entre el porcentaje de yeso y el de carbonato cálcico, y b) el porcentaje de la fracción insoluble en ácido, que representa el porcentaje de material insoluble (silicatos y materia orgánica) en suelos, y se deriva de la ecuación:

$$\%FIAC = 100 - (\%\ yeso + \%\ carbonato\ cálcico)$$

En la escorrentía se determinan los parámetros hidrológicos, químicos y sedimentológicos que se definen a continuación.

Parámetros hidrológicos

Escorrentía (L). Es el agua que circula sobre la superficie

de la parcela. Se expresa en mm/h. En cada ensayo se controla el momento de su aparición. Su determinación se realiza en cada intervalo de tres minutos (L3) y al finalizar la experimentación se registra el volumen total de escorrentía recogido.

Coeficiente de escorrentía (e). Es el porcentaje de precipitación que aparece como escorrentía. Su estimación requiere la medida del volumen de agua aplicado, cuya distribución durante el experimento es aproximadamente constante.

Parámetros químicos

En las aguas de escorrentía filtradas en el campo, se determinan la CE (CEf, dSm^{-1}) como expresión de su concentración salina, el pH, $CO_3^=$, HCO_3^- y Ca++. Unicamente en la primera muestra de los experimentos realizados en parcelas SCV, se analizan los cationes y aniones mayoritarios (expresados en $meqL^{-1}$). Su determinación en todas las muestras se hace necesaria si en los suelos estudiados existen sales más solubles que el yeso.

El Ca++ procede de la disolución de caliza y yeso. En el caso de que los bicarbonatos presenten una concentración inferior al 1% del Ca++ determinado, este valor de calcio representa la concentración de sulfato cálcico transportado en disolución (SCd).

Masa de sulfato cálcico transportada en disolución (MSCd). Se estima a partir de la concentración de SCd en gL^{-1} multiplicada por la escorrentía (L, mm/h). Se expresa en g/m^2h.

Masa de yeso transportada en disolución (MYd). Se estima a partir de la concentración de SCd, transformada en yeso (gL^{-1}) y multiplicada por la escorrentía (L, mm/h). Se expresa en g/m^2h.

Parámetros sedimentológicos

En las muestras de escorrentía no filtradas en el campo se realizan las siguientes determinaciones:

CE agitada (CEa). Su determinacion se realiza tras agitar las muestras durante tres horas (agitador de cuna) para provocar la total disolución del yeso particulado que contengan. Se expresa en dSm^{-1}.

Sulfato cálcico en suspensión (SCs). Expresa la concentración de $CaSO_4$ ($meqL^{-1}$) transportado en suspensión. Su determinación se realiza a partir de la diferencia de los valores de CEa y CEf. La sustitución de este valor en la relación CE - Ca++ para soluciones con una sola sal soluble, representa la concentración de sulfato cálcico (SCs) ($meqL^{-1}$) que ha sido transportado en suspensión y que se ha disuelto durante la agitación.

Yeso en suspensión (Ys). Es la concentración de yeso transportado en suspensión. Se estima a partir de la concentración de SCs, transformada en yeso y se expresa en mgL^{-1}.

Masa de sulfato cálcico transportada en suspensión (MSCs). Se estima a partir de la concentración de SCs en gL^{-1} multiplicada por la escorrentía (L, mm/h). Se expresa en g/m^2h.

Masa de sulfato cálcico transportada en disolución y suspensión (MSCd+s). Para su estimación se suman las concentraciones de SCd y SCs (gL^{-1}) y se multiplica por la escorrentía (L, mm/h). Se expresa en g/m^2h.

Materia transportada en suspensión (MATSUS). Se determina por pesada del residuo seco (50 °C) filtrado. A esta cantidad se le suma la concentración de yeso (mgL^{-1}) transportado en suspensión.

Se expresa en mgL^{-1}.

Carbonato cálcico en suspensión (CCs). Es la cantidad de carbonato cálcico transportado en suspensión. Se determina por calcimetría y se expresa en mgL^{-1}.

Concentración de la fracción insoluble en agua transportada en suspensión (FIAGs). Es la diferencia entre la concentración de la materia en suspensión menos la de yeso en suspensión, que es equivalente a la suma de la fracción insoluble en ácido más la concentración de CCs. Se expresa en mgL^{-1}.

Concentración de la fracción insoluble en ácido transportada en suspensión (FIACs). Se deriva de la ecuación FIACs= MATSUS - (Ys + CCs). Representa el contenido de material insoluble en ácido (silicatos, materia orgánica). Se expresa en mgL^{-1}.

Porcentaje de la fracción insoluble en ácido transportada en suspensión (%FIACs). Representa el porcentaje de material insoluble en ácido transportado en suspensión. Se deriva de la ecuación: % FIACs = 100 - (%Ys + %CCs).

RESULTADOS

Como revela el análisis de hidroquimogramas de algunos cursos fluviales, en las primeras fases de la escorrentía se produce un mayor aporte de sales. Ahora bien, el proceso de escorrentía presenta una clara tendencia a la rápida estabilización de los valores de salinidad y de escorrentía, como así se ha confirmado mediante los experimentos de larga duración planteados en Syrosems y en Serosems (sin cubierta de líquenes), que suponen una situación de máxima agresión y en la que los citados valores deberían tardar más tiempo en estabilizarse.

En Syrosems, el experimento se prolongó durante 24 minutos en los que se recogieron 8 muestras espaciadas cada tres minutos. En Serosems se tomaron 10 muestras tras 30 minutos de aplicación de lluvia simulada. Los valores de CEf (dSm^{-1}) y de escorrentía (L, mLs^{-1}) producidos se presentan en el Cuadro 1.

Esta rápida tendencia a la estabilización de valores viene avalada por la evolución de la escorrentía y de las concentraciones de calcio observada en parcelas HSV de Xerorendsinas (Figura 2). A lo largo de la experimentación, los valores de la concentración de Ca++ tienden a estabilizarse y evolucionan inversamente a la producción de escorrentía superficial. Una tendencia similar se observa en parcelas en estado seco y con vegetación de distintos tipos de suelos yesíferos (Figura 3).

Respecto a la expresión de los resultados de cada experimento, de las alternativas que se ofrecían, ya sea la estimación de la media aritmética de las cinco muestras, con lo que los valores así obtenidos se referirían al episodio tormentoso de 15 minutos de duración, o bien la consideración de la media aritmética de los valores de las cuatro últimas muestras, como expresión de una situación de equilibrio, se optó por esta última.

No obstante, para algunas variables como la materia en suspensión, el sulfato cálcico y el carbonato cálcico transportados en suspensión, quizás cuatro determinaciones sean insuficientes para representar un buen valor medio, ya que son parámetros de más alta variabilidad.

Cuadro 1.- Valores de CEf (dSm^{-1}) y de escorrentía L (mLs^{-1}) en Syrosems y Serosems.

SYROSEMS (16%)		SEROSEMS (8%)	
CEf	L	CEf	L
1.15	3.89	1.38	9.50
1.10	13.89	1.55	14.56
1.19	11.67	1.56	14.44
1.23	11.11	1.54	14.56
1.16	14.44	1.57	14.17
1.11	11.11	1.53	14.72
1.08	10.00	1.50	13.89
1.13	12.78	1.49	13.89
-	-	1.50	14.72
-	-	1.50	13.06

RESUMEN

En este trabajo, se presenta una metodología experimental para el estudio del transporte de solutos y sedimentos por las escorrentías superficiales.

Sobre parcelas de 1.25 x 1.25 m, y tras la selección de los niveles de variabilidad de los factores de mayor incidencia en el proceso, la aplicación de lluvia simulada durante 15 minutos y la determinación de parámetros hidroquímicos y sedimentológicos en las aguas de escorrentía, para los sucesivos ensayos en cada parcela, suministra resultados fiables del comportamiento de los suelos yesíferos y calcáreos en la generación de solutos y sedimentos incorporados a la escorrentía superficial.

REFERENCIAS

Bryan, R. 1968. Development of laboratory instrumentation for the study of soil erodibility. **Earth Science Journal** 2:38- 50.

Kempe, S. 1975. A computer program for hydrochemical problems in karstic water. **Ann. Speleol.** 30:699-702.

Meyer, L.D. 1965. Symposium on simulation of rainfall for soil erosion research. **Trans. ASAE.** 8: 63-65.

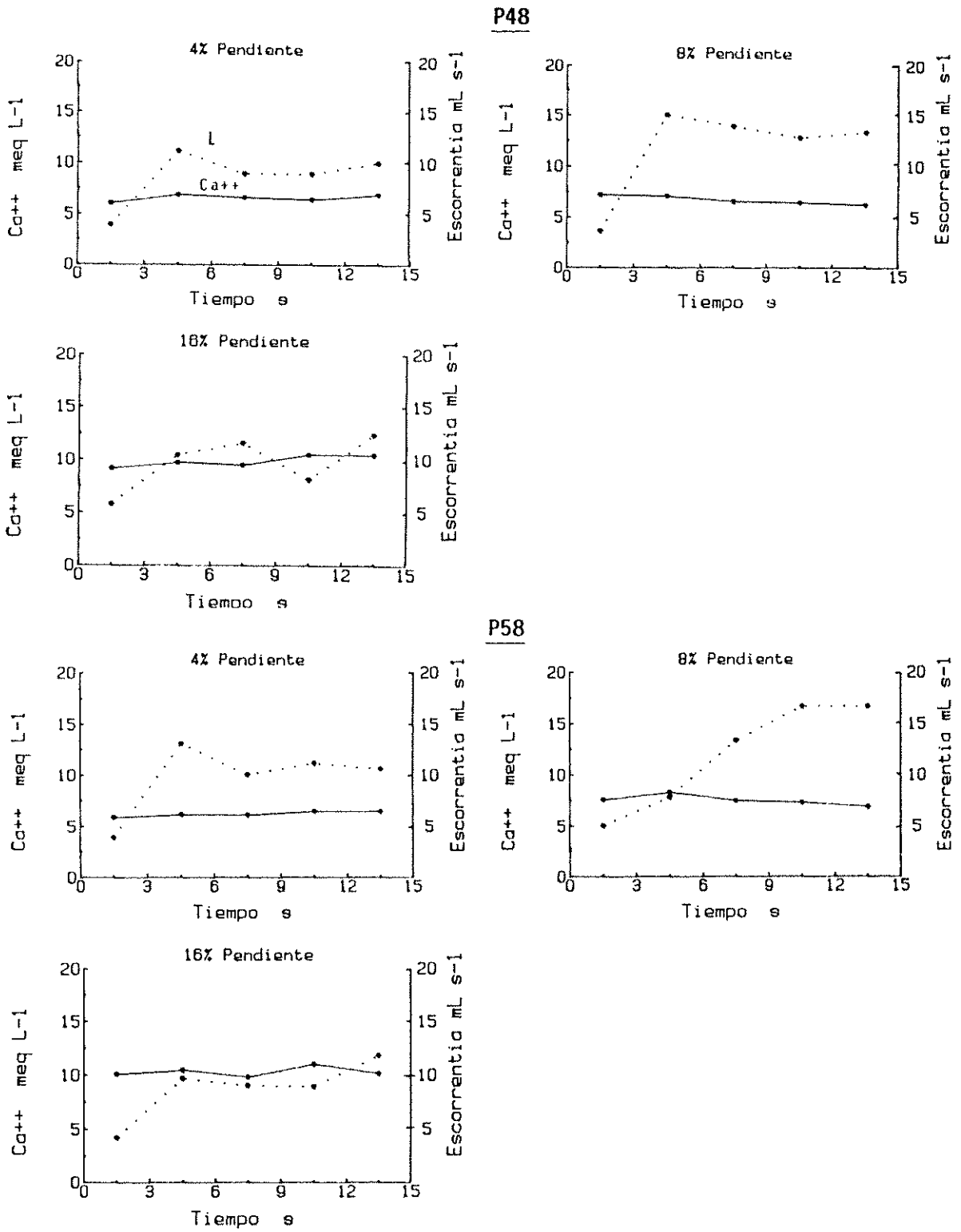

Figura 2.- Evolución en el tiempo de la concentración de calcio y de la escorrentía en parcelas HSV de Xerorendsinas diferenciadas por pendiente e intensidad de precipitación.

Navas, A. 1988. La participación de los yesos en la salinización de las aguas superficiales de la Cuenca del Ebro. Tesis Doctoral. Fac. Ciencias. Universidad de Zaragoza. 466pp.

Ponce, S.L. 1975. Examination of non-point source loading function for the Mancos Shale Wildlands of the Price River Basin, Utah. University Microfilms International. W-4-206.

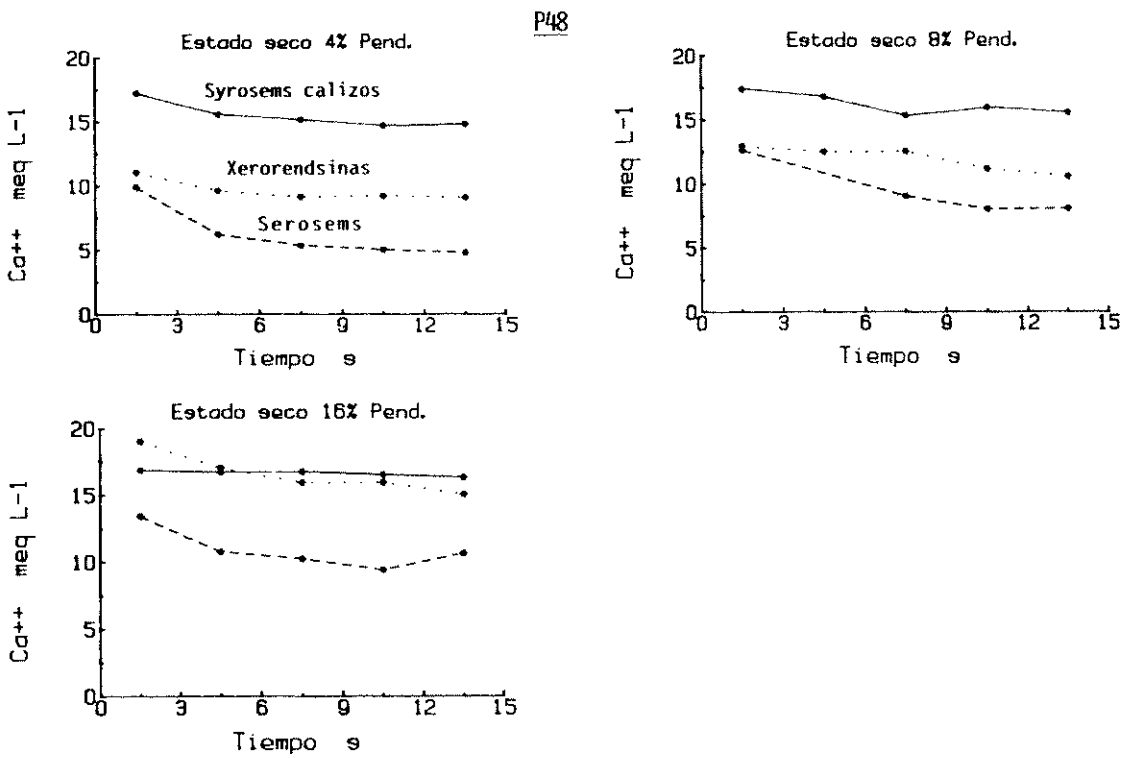

Figura 3.- Evolución en el tiempo de la concentración de calcio en parcelas en estado seco y con vegetación (SCV) de suelos yesíferos agrupados por pendientes.

An. Aula Dei 19(3-4):345-359.

La participación de los yesos en la salinización de las aguas superficiales de la Cuenca del Ebro. III. Metodología de cuantificación

Por **A. NAVAS**

Estación Experimental de Aula Dei, ZARAGOZA

Recibido: 25-XI-1988

Palabras clave: Yesos, Cuantificación, Salinidad, Aguas superficiales, Cuenca del Ebro.

ABSTRACT

Navas, A. 1989. The role of gypsum in the salinization of surface waters in the river Ebro basin. III. Methodology of quantification. **An. Aula Dei 19(3-4):345-359.**

The present study proposes a methodology to quantify the contribution of gypsum to the salinization of surface waters in the Ebro river basin. This approach assumes the existence of chemical equilibrium, and linear regressions between ions are used in order to identify the salt that produced them.

The lithological and hydrogeochemical characteristics of each catchment are also considered in order to assess the amount of calcium derived from carbonate dissolution, by means of equations of charge balance and chemical equilibrium equations in the calcite-dolomite system. Once this contribution is subtracted from total calcium concentration, it is decided whether the sulphate ion or the calcium ion is the best indicator of gypsum, based on the existence or lack of correlation between them both and also on the analysis of other relationships between the ions that contribute to salinity.

INTRODUCCION

El relleno sedimentario de la cuenca del Ebro producido durante gran parte del Eoceno, Oligoceno y Mioceno, está constituído esencialmente por materiales detríticos groseros (conglomerados y areniscas) en los bordes, que pasan progresivamente a facies detríticas más finas (limos y arcillas) en transición a calizas y evaporitas, fundamentalmente litofacies yesíferas acompañadas de

rocas salinas haloideas, en el centro de la cuenca. Estas formaciones evaporíticas, que se identifican como los principales contribuyentes a la carga de sales transportada por el río Ebro, contienen calcita, yeso y otros minerales más solubles, precipitados durante el relleno sedimentario de la cubeta en el Terciario. En el ambiente actual, este ciclo se invierte y la solubilización de tales minerales constituye la principal fuente suministradora de iones al río Ebro.

Nuestro interés se centra específicamente en las formaciones con yesos, que ocupan el 22 % de la superficie de la cuenca (ALBERTO y NAVAS, 1986 a) y en su participación en la salinización de las aguas superficiales de la red hidrográfica del Ebro, hecho este puesto de manifiesto en ALBERTO y NAVAS (1986 b). En base a esta participación se explican las buenas relaciones existentes, para el conjunto de las estaciones de la red COCA (69 estaciones de muestreo), entre contenidos medios de $SO_4^=$ y Ca++. No obstante, de la consideración de la forma de la línea de regresión con mayor ajuste y de un análisis más detallado de dichas regresiones en cada estación de muestreo, se ha puesto de manifiesto la participación de iones sulfato y calcio procedentes de fuentes distintas del yeso.

La cuantificación por tramos de la participación de los yesos en la salinidad permite dos vías de actuación: una, en la que se identifica el yeso a traves del Ca++ o $SO_4^=$ específicamente procedentes de él, y otra que cuantifica entre los iones Ca++ o $SO_4^=$ presentes, aquellos procedentes de sales diferentes del yeso; en este caso la diferencia entre los iones de esta procedencia y los existentes en el agua nos daría la contribución del yeso en la salinidad.

En cuanto al primer tipo de actuación, la identificación de las litofacies de procedencia utilizando los isótopos como trazadores, ha experimentado una creciente práctica y aceptación en la investigación hidrogeoquímica. Mediante las relaciones entre los isótopos estables y debido al fraccionamiento isotópico producido por procesos físicos o químicos, se puede determinar la fuente de procedencia de un determinado ión. Entre los trabajos que utilizan los isótopos de azufre como trazadores del origen del sulfato, cabe destacar los de HOLSER y KAPLAN (1966), RIGHTMIRE et al. (1974), FONTES y ZUPPI (1976), CHESTERIKOFF et al. (1981), KROTHE y LIBRA (1983), ROBINSON y AL RUWAIH (1985), HENDRY et al. (1986) y UTRILLA et al. (1987).

La relación entre los isótopos del azufre ha sido utilizada en la cuenca del Ebro para identificar el origen de los yesos terciarios, que BIRNBAUM y COLEMAN (1979) relacionan con los yesos triásicos por la similitud de valores. Mientras que MENDUIÑA et al. (1984) evidencian un intenso proceso de evaporación y un origen de los sulfatos no marino, mediante el análisis isotópico de muestras de glauberita de Cerezo del Río Tirón. Esta metodología presenta buenas posibilidades para diferenciar los aportes de $SO_4^=$ procedentes de los yesos terciarios o del atmosférico, y quizá de otros sulfatos de los que, de momento, se desconoce su relación isotópica.

Para investigar las asociaciones estadísticas entre los constituyentes disueltos y la litología es generalizado el uso de técnicas estadísticas tales como la regresión simple, múltiple

o canónica. Otras metodologías como el análisis factorial, el R-mode factor (específico en hidroquímica) y el Q-mode factor, orientadas a encontrar un pequeño número de factores que puedan explicar la varianza de un gran número de datos analíticos, son utilizadas en los trabajos de LE MARECHAL y TEIL (1973), DEPETRIS (1976, 1980), LENARDON (1981), DEPETRIS y LENARDON (1982), POLVORINOS DEL RIO (1984) y BENAVENTE y CARRASCO (1984).

Otros análisis -cluster, multivariante y discriminante- son utilizados por POLLARD et al. (1976), RUMEAU y SOURISSE (1975), Williams (1982) y WILLIAMS et al. (1983) para seleccionar y agrupar variables en base a determinados caracteres hidrogeoquímicos diferenciadores, que permiten relacionar una determinada composición de las aguas con el entorno lito-geológico de orígen.

Los principales constituyentes químicos de las aguas se hallan correlacionados entre sí, en relación con la procedencia común por meteorización o disolución de rocas. Este hecho esta controlado por las correspondientes reacciones geoquímicas de forma que los productos iniciales y finales se relacionan esteoquimétricamente. Ello ha justificado la utilización, por nuestra parte, de regresiones lineales entre los distintos constituyentes inorgánicos para determinar la sal de procedencia; y en concreto, en nuestro caso, para una vez descontada del calcio total la participación del calcio del bicarbonato, proceder a la identificación del yeso a traves de la regresión $SO_4^= - Ca^{++}$.

Esta metodología que permite la identificación geoquímica de la sal de origen mediante el establecimiento de regresiones lineales entre sus iones, ha sido también utilizada por MAGARITZ et al.(1981), LEONARD (1964) y LEONARD-KLEINSCHMIDT (1976).

Otras metodologías que se desecharon, tras cuidadosa evaluación de sus características, han sido las propuestas por la escuela rusa (BASILEVICH y PANKOVA, 1968; YEGOROV y GORINA, 1975) y por la AOAC (1984) que intentan reconstruir la sal de procedencia de los aniones y cationes presentes en solución, así como la de WIGLEY (1973) que estima el calcio procedente del yeso en el sistema calcita-yeso-agua.

MATERIAL Y METODOS

Cuantificación del Ca++ procedente de los carbonatos

En la identificación de las fuentes de calcio, los carbonatos y bicarbonatos correspondientes son componentes cuya participación se puede evaluar a partir de los equilibrios químicos regulados por la temperatura y la presión parcial de CO_2 del sistema carbonatado.

Entre los estudios orientados a la discriminación del origen del Ca++ en el sistema carbonatado, LANGMUIR (1971) describe la solubilidad de la calcita y dolomita mediante la ecuación:

$$Ca^{++} + Mg^{++} (mmoL^{-1}) = 10,9.PCO_2^{0.356}$$

en la que las relaciones entre las moléculas de las especies presentes son función de la CE, PCO_2, pH, y temperatura. PLUMMER et al. (1976) cuantifican el Ca++ y Mg++ derivado de las calizas y BRASS (1978) determina el Mg++ procedente de la calcita, dolomita y silicatos.

La relación Ca/Mg constituye un índice de gran utilidad en

las aguas subterráneas para indicar si los tipos de roca predominantes son calizas o dolomías (MEISLER y BECKER, 1967). Esta proporción oscila entre 2 y 10 en la mayoría de las aguas derivadas de calizas, mientras que en las procedentes exclusivamente de dolomías tiene un valor de 0.98 a 1.05 (LANGMUIR, 1984).

Según LANGMUIR (1984), el equilibrio entre la calcita y la dolomita se puede escribir de la forma siguiente:

$$2CaCO_3 + Mg^{++} = CaMg(CO_3)_2 + Ca^{++}$$

de forma que $Keq = Kc^2/Kd = Ca^{++}/Mg^{++}$.

DREVER (1982) propone un valor de 0.6 para la constante de equilibrio entre la calcita y la dolomita. Sin embargo, dado el desacuerdo existente en la bibliografía sobre los valores de la constante de equilibrio de la dolomita, este dato debe ser considerado únicamente como aproximado.

Otra vía de identificación directa de los carbonatos suministradores de calcio, es el análisis de las relaciones isotópicas ^{13}C /^{12}C (excluyendo la posibilidad de existencia de otros carbonatos más solubles de sodio o magnesio), en este aspecto destacan los trabajos de SALOMONS y MOOK (1976), LONGINELLI Y EDMUND (1983) y PIERRE y FONTES (1979). STUEBER et al. (1973) identifican la roca carbonática de procedencia a partir de los isótopos $^{87}Sr/^{86}Sr$ y de la relación Sr/Ca.

Más cercana a nuestra problemática es la investigación de WIGLEY (1973) sobre la separación y cuantificación del calcio procedente de la calcita del procedente del yeso, realizada a partir del estudio de los equilibrios y la termodinámica del sistema calcita-yeso-agua, incluyendo los pares iónicos neutros y monovalentes entre Ca^{++}, Mg^{++}, $SO_4^=$ y HCO_3^-.

En las aguas naturales la identificación de la procedencia de los iones calcio adquiere una mayor dificultad, derivada de la complejidad de las manipulaciones algebraicas al ampliar el sistema a un mayor número de minerales que se disuelven en el agua.

La inherente complejidad del sistema natural viene en parte atenuada por las características del contexto geológico de la cuenca, que condicionan la saturación en $CaCO_3$ de la mayoría de las aguas en cabecera (con algunas excepciones en los ríos pirenaicos) y la incorporación de yeso hacia sectores más centrales junto con el aumento gradual de latemperatura de las aguas. Ello tiene implicaciones en la presión parcial de CO_2 y produce el consiguiente incremento de la saturación en calcita y dolomita, como así se ha ha puesto de manifiesto mediante los análisis puntuales en diversas estaciones de muestreo de la red COCA.

Si la cuantificación de los yesos se pretende hacer a traves del Ca^{++}, las interferencias pueden surgir por el Ca^{++} disuelto como bicarbonato de la calcita y dolomita, del procedente de otras sales, o bien del derivado de la alteración de silicatos.

En general se puede decir que las litofacies carbonáticas son predominantes en la cuenca. Efectivamente, la aplicación de criterios de saturación en calcita (modelo KEMPE, 1975) ha evidenciado que la inmensa mayoría de los ríos est n saturados en más del 50 % de los muestreos.

Atendiendo a las situaciones que pueden aparecer en la cuenca en razón a su diversidad litológica, que queda reflejada en la composición iónica de sus aguas superficiales, se han diferenciado

cuatro grupos:
A) Presencia, además de calizas y dolomías, de otros carbonatos muy solubles de sodio y magnesio presentes en áreas concretas de suelos (suelos sódico-alcalinos, suelos contaminados por magnesitas de Eugui). En la composición química de las aguas, éstos quedan reflejados por las altas concentraciones de HCO_3-. Señalaremos que las reas madres de carbonatos muy solubles no lo son de yesos.
B) Predominio de fuentes de Ca++ silicatadas. Los carbonatos están escasamente representados en las respectivas cuencas. El contenido en Mg++ es inferior a 0.3 $meqL^{-1}$ y las aguas están escasamente mineralizadas.
C) Frecuentemente, junto a las calizas aparecen dolomías, lo que se reconoce por concentraciones de Mg++ en las aguas superiores a 0.3 e inferiores a 2 $meqL^{-1}$. Además, existen sales sulfatadas de calcio y sodio, generalmente en pequeñas cantidades, descartándose la existencia de una fuente de magnesio.
D) Junto a las calizas y dolomías existen yesos y otras sales sulfatadas de magnesio y sodio (epsomita, mirabilita, glauberita, thenardita), con lo que las aguas están altamente mineralizadas.

El listado de los ríos (en las estaciones de muestreo de la red COCA) que por sus características hidrogeoquímicas se pueden encuadrar en cada uno de estos grupos se recoge en el Cuadro 1.

La metodología establecida para estimar el Ca++ procedente de los carbonatos en cada uno de los ríos correspondientes a estos grupos ha sido la siguiente:

Grupo B.- Se ha considerado que los tres emplazamientos de muestreo correspondientes a los ríos pertenecientes a este grupo no participan con Ca++ procedente de carbonatos en cantidades significativas. A esta conclusión se ha llegado tras:
a) Analizar los caracteres litológicos de las respectivas cuencas de recepción y constatar la escasa importancia relativa de los materiales carbonatados en el conjunto de las mismas (menos del 10 %).
b) Estudiar las solubilidades teóricas de la calcita y dolomita, compararlas con las concentraciones de HCO^3- en estos ríos, y confirmar el predominio de estados de subsaturación de los muestreos.

Grupo C.- Para los ríos de este grupo, el Ca++ procedente de las calizas y dolomías se ha estimado descontando de la concentración de bicarbonatos los miliequivalentes de magnesio presentes. Este método supone que todo el Mg++ procede de las dolomías. De acuerdo a LANGMUIR (1984), se ha calculado que para las condiciones medias de PCO_2 y temperatura existentes en las aguas superficiales de la red COCA,la concentración de Mg++ que puede proceder de la disolución directa de dolomita es de 1 $meqL^{-1}$. Esta aseveración, exige además la comprobación de la naturaleza de las litofacies aflorantes en las respectivas cuencas de recepción, así como el análisis detallado de las relaciones Cl- - Na+ y SO_4=- Ca++ que no debe evidenciar la existencia de otras fuentes de Mg++ distintas de las dolomías.

Cuadro 1.- Distribución de los ríos, en las estaciones de muestreo, encuadradas en cada uno de los cuatro grupos diferenciados.

GRUPO A

RIO	LOCALIZACION	Nº
Arba	Gallur	60
Arga	Echauri	69
Gallego	Zaragoza	89
Arga	Huarte	159
Arga	Ororbia	217
Isuela	Pompenillo	218
Clamor Amarga	Zaidín	225
Alcanadre	Ontiñena	226
Flumen	Sariñena	227

GRUPO B

RIO	LOCALIZACION	Nº
Valira	Seo de Urgel	22
Segre	Seo de Urgel	23
Segre	Pla de San Tirs	206

GRUPO C

RIO	LOCALIZACION	Nº
Ebro	Miranda	1
Arga	Peralta	4
Aragón	Caparroso	5
Aragón	Jaca	18
Alcanadre	Peralta de Alcofea	33
Iregua	Islallana	36
Najerilla	Torremontalvo	38
Irati	Liédena	65
Ega	Estella	71
Zadorra	Arce	74
Nela	Trespaderne	92
Noguera Ribagorzana	La Piñana	97
Aragón	Yesa	101
Segre	Pons	114
Ebro	Mendavia	120
Gallego	Anzánigo	123
Ebro	Palazuelos	161
Bayas	Miranda	165
Jerea	Palazuelos	166
Noguera Pallaresa.	Camarasa	169
Zadorra	Vitoria	179
Zadorra	Durana	180
Aragón	Sangüesa	205
Ebro	Conchas de Haro	208
Cinca	Monzón	228

GRUPO D

RIO	LOCALIZACION	Nº
Ebro	Castejón	2
Ega	Andosilla	3
Jalón	Huermeda	9
Ebro	Zaragoza	11
Martín	Hijar	14
Guadalope	Alcañiz	15
Cinca	Fraga	17
Segre	Lérida	24
Segre	Serós	25
Ebro	Tortosa	27
Ebro	Mequinenza	29
Guatizalema	Peralta de Alcofea	32
Jiloca	Calamocha	42
Tirón	Cuzcurita	50
Jalón	Grisén	87
Oca	Oña	93
Segre	Balaguer	96
Huerva	Mezalocha	105
Ebro	Sástago	112
Ebro	Flix	121
Ebro	Pignatelli	162
Ebro	Ascó	163
Matarraña	Maella	176
Segre	Termens	207
Gállego	Zuera	209
Ebro	Ribarroja	210
Ebro	Presa Pina	211
Ebro	Cherta	212
Cidacos	Calahorra	213
Alhama	Alfaro	214
Huerva	Zaragoza	216
Segre	Torres de Segre	219

Grupo D.- En este grupo se concentran los ríos de mayor complejidad química que presentan aguas altamente mineralizadas. Las posibilidades para descontar del Ca++ total el procedente de la disolución de las calizas y dolomías son las siguientes:
d1) Descontar del Ca++ total el contenido en HCO_3-.
d2) Descontar el HCO_3- correspondiente al HCO_3- libre más los pares iónicos que forme el calcio.
d3) Descontar el valor de la ordenada en el origen en la regresión SO_4=- Ca++, cuando el valor de la pendiente sea 1.
d4) Descontar el valor del Ca++ procedente de la disolución de la calcita y dolomita, calculado mediante las siguientes ecuaciones de equilibrio:

$$mCa++ + mMg++ = 10,9\ (PCO_2)^{0,356}.\ r \quad (1)$$

$$mMg++/mCa++ = Kd/Kc^2 \quad (2)$$

donde r es el factor de temperatura.
d5) Cálculo del Mg++ de la dolomita mediante las ecuaciones de equilibrio (1) y (2). Este valor del Mg++ se descuenta a su vez del HCO_3-, obteniéndose así un valor de Ca++ procedente de la calcita y dolomita, que es el que se descontará del Ca++ total.
d6) Cálculo del Mg++ de la dolomita mediante la ecuación de balance de carga (3). Este valor de Mg++ se descuenta del HCO3- obteniéndose como en el método anterior un valor de Ca++ procedente de la calcita y dolomita.

$$CaCO_3 + CaMg(CO_3)_2 \text{ -- > } 6HCO_3- + 2Ca++ + Mg++ \quad (3)$$

$$mHCO_3- = 4mCa++ + 2mMg++$$

$$mCa++ = (mHCO_3- - 2mMg++)/4$$

$$mMg++/mCa++ = Kd/Kc^2$$

La aplicación de cualquiera de los métodos propuestos requiere la comprobación previa del estado de saturación de las aguas en calcita y dolomita, así como la evidencia a partir del establecimiento de regresiones lineales (Cl- - Na+, SO_4= - Ca++) de que, efectivamente, participan otras sales de Mg++ distintas de la dolomita (sulfatos, cloruros).

Grupo A.- En esta situación, el método que más garantías ofrece es el que da una valoración del Ca++ procedente de la calcita y dolomita, a través de las ecuaciones de equilibrio (1) y (2) del método d4.

Discusión y selección del método de cuantificación

Esta discusión tiene por objeto la selección del método más idóneo para descontar el Ca++ ($meqL^{-1}$) procedente de la calcita y dolomita en cada uno de los grupos de ríos diferenciados, asumiendo las limitaciones específicas que la propia metodología supone al extrapolar y comparar situaciones basadas en la existencia de equilibrio químico con las producidas en el medio natural con su complejidad implícita.

No someteremos a discusión el método empleado en el grupo C por ser el único propuesto, mientras que en el grupo B no se ha aplicado método alguno, ya que el Ca++ que contienen las aguas procede fundamentalmente de otras fuentes no carbonatadas (silicatos).

En el grupo D, que reúne los ríos de aguas más mineralizadas, se han propuesto seis métodos que alcanzan distintos niveles de precisión. Los métodos D1 y D2 descartan la contribución del Mg++

de la dolomita. Los métodos D4, D5 y D6 parten de la consideración de situaciones de saturación en calcita y dolomita. La existencia de estas condiciones de equilibrio en las estaciones de muestreo en las que se podrían aplicar los métodos d4, d5 y d6 se ha verificado mediante el modelo de KEMPE (1975).

Para el conjunto de los muestreos de la red COCA, los porcentajes de saturación, sobre o subsaturación en calcita y dolomita se distribuyen así: a) sobresaturación en calcita y dolomita en el 56.37 % de los muestreos. b) Sobresaturación en calcita y saturación en dolomita en el 1.18 % de los muestreos. c) Sobresaturación en calcita y subsaturación en dolomita en el 23.95 % de los muestreos. d) Saturación en calcita y subsaturación en dolomita en el 0.62 % de los muestreos. e) Subsaturación en calcita y dolomita en el 17.88 % de los muestreos. La subsaturación en ambas fases minerales se produce en las estaciones de muestreo de los ríos de cabecera.

Para seleccionar el mejor de estos métodos, se ha procedido al establecimiento de regresiones lineales simples entre los valores del calcio ($meqL^{-1}$) de la calcita y la dolomita, calculados según C, d2 y d3, d4, d5 y d6 sobre un conjunto seleccionado de 88 muestras, representativas de todas las situaciones de equilibrio posibles en los cuatro grupos de ríos diferenciados.

De la comparación de los resultados obtenidos (Figura 1), se ha escogido el método d6 como el más idóneo para evaluar el Ca++ procedente de la disolución de calcita y dolomita, fundamentalmente porque mantiene esta estimación en una situación intermedia, entre la de aquellos métodos que la sobreestiman y la de los que la subestiman.

En los ríos pertenecientes al grupo A, la existencia de otros carbonatos muy solubles distintos de las calizas y dolomías, aconseja la utilización del método d4 como el más apropiado para la estimación de calcio de la calcita y la dolomita, ya que este valor se obtiene de forma directa a partir de las correspondientes ecuaciones de equilibrio, evitándose así el error que sucedería al aplicar los métodos d5 y d6 que cuantifican todo el bicarbonato como exclusivo de la calcita y la dolomita.

Selección del Ca++ o del $SO_4^=$ como mejor indicador del yeso

La existencia de otras sales de calcio distintas del yeso (casi siempre minoritarias), se puede evidenciar a través de la existencia o no de correlación entre el $SO_4^=$ y el Ca++, al que se ha descontado el procedente de la calcita y dolomita. A este tipo de ensayo se puede recurrir como consecuencia de la importante variación en las respectivas concentraciones que se observa en la mayoría de los ríos de la cuenca, relacionada con la estacionalidad de sus caudales.

Si la correlación entre ambos iones es alta y el coeficiente de regresión está próximo a la unidad, ambos parecen tener el mismo origen y se puede considerar que todo el calcio procede del yeso. Si, por el contrario, la correlación es baja o los coeficientes de regresión difieren de la unidad, es preciso recurrir al an lisis de otras relaciones iónicas para identificar la procedencia de tales interferencias.

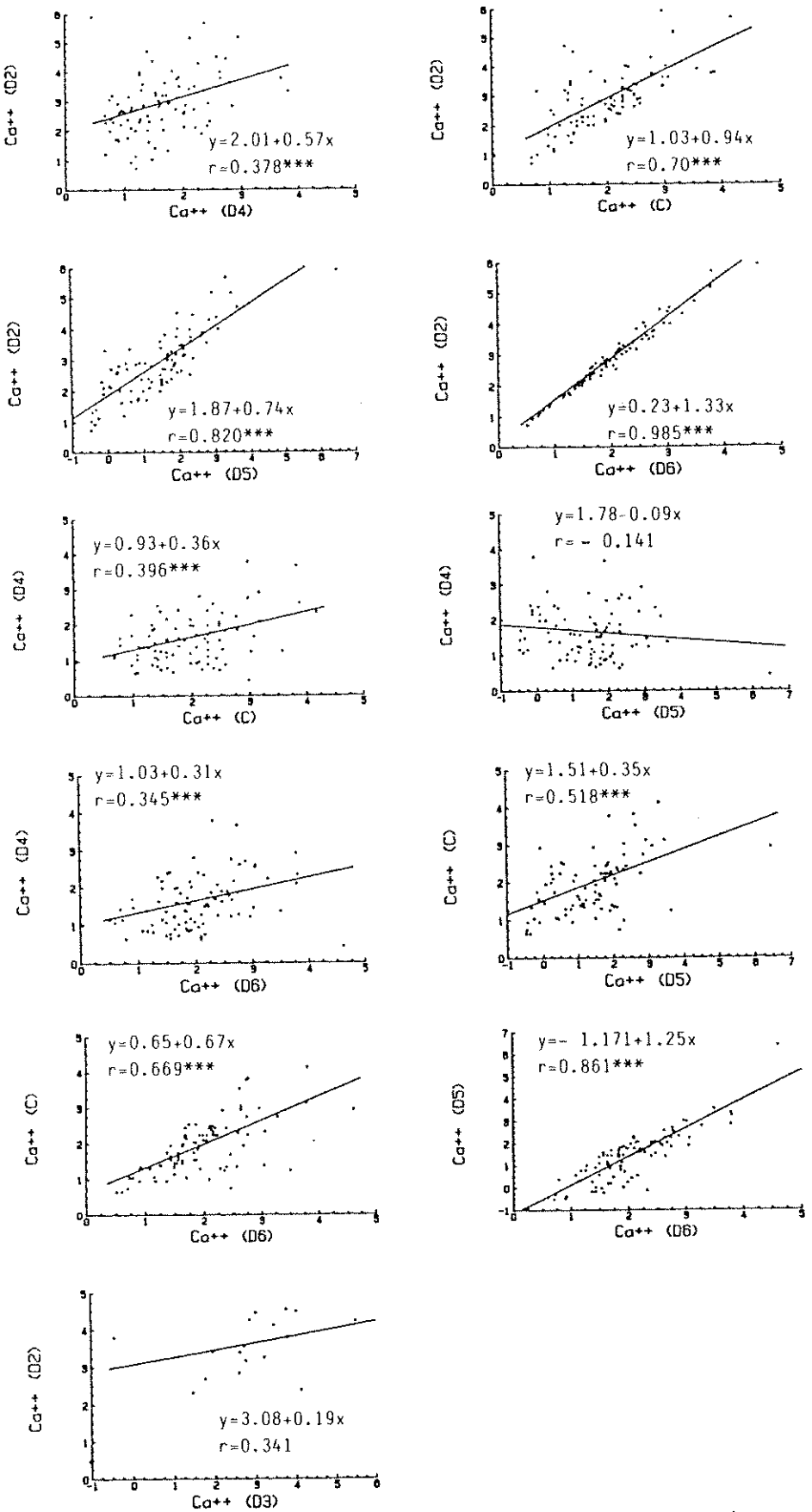

Figura 1.- Regresiones lineales entre las concentraciones de Ca++ procedentes de la disolución de calcita y dolomita, estimadas según los distintos métodos aplicados.

El tratamiento seleccionado como el más idóneo para cuantificar la participación de los yesos se decide mediante la metodología siguiente (Figura 2).

I) Existe correlación $SO_4^=$ - Ca++

En este caso son tres las posibilidades concernientes al valor de la pendiente b:

A) b=1. La fuente de calcio y sulfato es común -el yeso- por lo que éste se puede evaluar indistintamente tanto por el calcio como por el sulfato.

B) b<1. Son dos las posibilidades que explican este valor de la pendiente: pérdida de calcio por precipitación o cambio iónico o existencia de otros sulfatos distintos del yeso ($MgSO_4$, NA_2SO_4). En este caso es preciso determinar cual de estas dos situaciones decide el valor de la pendiente (b<1). Para ello, se recurre al análisis de la relación iónica entre Cl- y Na+.

En la regresión Cl- - Na+, caben, a su vez, tres posibilidades con respecto al valor de la pendiente:

p) b = 1. La fuente de Cl- y Na+ es común, el NaCl.

q) b > 1. Existe una fuente adicional de Na+ (de una sal o del cambio iónico).

r) b < 1. Existen otros cloruros distintos del NaCl.

La situación (p) sugiere la necesidad de comprobar el valor de la concentración de Mg++, que debe ser superior al de saturación en dolomita para asegurar la existencia de $MgSO_4$. Es por tanto el Ca++ el mejor indicador para la cuantificación del yeso. Si la existencia de $MgSO_4$ no se puede garantizar, se puede considerar el $SO_4^=$ como indicador del yeso.

La situación (q) para valores de la pendiente claramente superiores a 1, indica la existencia de una sal sódica. El Ca++ sería el mejor indicador del yeso. Al igual que en el caso anterior se puede comprobar además la existencia o no de $MgSO_4$.

En la situación (r) las otras fuentes de sales son cloruros distintos del NaCl. Para seleccionar el sulfato como indicativo del yeso, es necesario verificar la no existencia de $MgSO_4$, mediante el análisis de las regresiones entre aniones (Cl- - $SO_4^=$) y entre cationes (Ca++ - Mg++). En caso contrario se considera el calcio.

Finalmente, también puede no existir correlación entre Cl- y Na+, en cuyo caso es preciso comprobar la existencia o no de $MgSO_4$ para considerar el Ca++ o el $SO_4^=$, respectivamente, como indicadores del yeso.

C) b > 1. El valor de la pendiente indica la existencia de una fuente de Ca++ ajena al $SO_4^=$. Se selecciona el $SO_4^=$ como mejor indicador del yeso. En la relación entre Cl- y Na+, la situación mas posible es la (r), en la que se evidencia la existencia de otros cloruros. El caso (p) podría producirse en situaciones específicas, tales como la del cambio iónico del calcio por el magnesio, o la existencia de otras sales (nitratos, boratos).

El análisis de las regresiones de aniones entre sí (Cl- - $SO_4^=$) y de cationes entre sí (Ca++ - Mg++), proporciona información complementaria sobre la existencia o no de una procedencia común de los iones y también sobre la similaridad o no de los mecanismos de transporte.

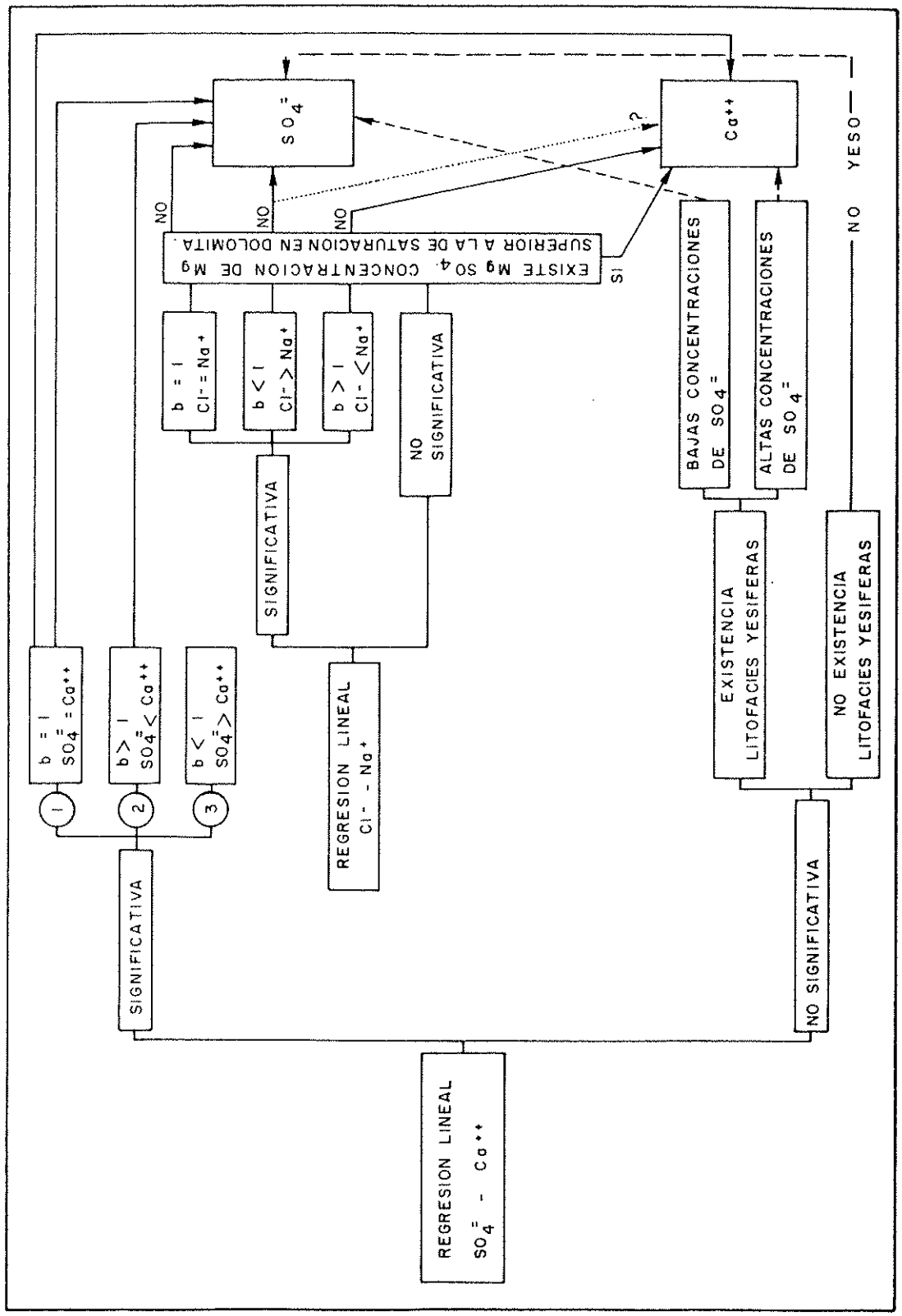

Figura 2.- Metodología seguida para la selección del Ca++ o del $SO_4^=$ como mejor indicador del yeso.

II) No existe correlación entre $SO_4^=$ y Ca++.
A) Además la concentración de $SO_4^=$ es muy baja. Se descarta la existencia de yeso, lo que se comprueba en la cartografía. No obstante, la posibilidad de procedencia del $SO_4^=$ de un yeso secundario (oxidación de piritas y precipitación como yeso) ha conducido a su consideración como más indicativo de este posible origen.
B) Los valores de $SO_4^=$ son medios y evidencias cartográficas señalan la existencia de formaciones con yesos. La selección del Ca++ o $SO_4^=$ se realiza conforme a lo establecido en el apartado I.B).

RESUMEN

Se propone una metodología para cuantificar la participación de los yesos en la salinización de las aguas superficiales de la cuenca del Ebro, basada en la existencia de equilibrios químicos junto con el establecimiento de regresiones lineales simples entre los iones, para identificar la sal de procedencia.

Las características litológicas e hidrogeoquímicas de cada emplazamiento han sido consideradas para estimar el calcio procedente de los carbonatos. Esta estimación se ha realizado mediante ecuaciones de balance de carga y de equilibrios químicos del sistema calcita-dolomita. Descontada del calcio total esta participación, la selección del ión sulfato o del calcio como mejor indicador del yeso, se decide a través de la existencia o no de correlación entre ambos, junto con el análisis de otras relaciones entre iones participantes de la salinidad.

REFERENCIAS

Alberto, F. y A. Navas. 1986 a. La participación de los yesos en la salinización de las aguas superficiales de la cuenca del Ebro. I. Cartografía de síntesis de las formaciones con yesos. **An. Aula Dei** 18: 7-18.

Alberto, F. y A. Navas. 1986 b. La participación de los yesos en la salinización de las aguas superficiales de la cuenca del Ebro. II. Contribución relativa de los iones $SO_4^=$ y Ca++ a la salinidad. **An. Aula Dei** 18: 19-29.

ADAC. 1984. Official Methods of Analysis.

Appelo, A.J.; H.E. Beekman y A.W. Oosterbaan. 1984. Hydrochemistry of springs from dolomite reefs in the southern Alps of northern Italy. In: **Hydrochemical balances of freshwater systems.** Proc. Uppsala Symposium. 1984. Ed. E. Eriksson. IAHS-AISH Publication 150: 125-138.

Basilevich, N.I. y Y.I. Pankova. 1968. Genesis and classification of soils. Tentative classification of soils by salinity. **Soviet Soil Science** 11: 1477-1478.

Benavente Herrera, J. y F. Carrasco. 1984. Evolución hidroquímica en el río Guadalhorce (Málaga, España). **Boletín Geológico y Minero** 95: 374-382.

Birnbaum, S.J. y M. Coleman. 1979. Source of sulphur in the Ebro Basin (Northern Spain) tertiary nonmarine evaporite deposits as evidenced by sulphur isotopes. **Chemical Geology** 25: 163-168.

Brass, G.W.. 1978. Magnesium in the continental runoff. **Geochimica et Cosmochimica Acta** 42: 1459-1462.

Chesterikoff, A.; P. Lecolle; R. Letolle y J.P. Carbonell. 1981. Sulfur and oxygen isotopes as tracers of the origin of sulfate in Lake Creteil. (Southeast of Paris, France). **Journal of Hydrology** 54: 141-150.

Depetris, P.J. 1976. Hydrogeochemistry of the Paraná river. **Limnology and Oceanography** 21: 736-739.

Depetris, P.J. 1980. Hydrochemical aspects of the Negro river in Patagonia, Argentina. **Earth Surface Processes** 5: 181-186.

Depetris, P.J. y A.M. Lenardon. 1982. Particulate and dissolved phases in the Paraná river. En: E.T. Degens (ed.). **Transport of carbon and minerals in major world rivers.** Mitteilungen aus dem Geologich-Palaontologischen Institut der Universitat Hamburg. Scope/Unep. Sonderband. Heft 52-766 Seiten Hamburg. 1982.:385-395.

Drever, J.I. 1982. The geochemistry of natural waters. Ed. K.J. Clemments. **Prentice-Hall.** Inc Englewood. Cliffs. 388 pp.

Fontes J.CH. y C.M. Zuppi. 1976. Isotopes and waters chemistry in sulfide-bearing springs of central Italy. In: **Interpretation of Environmental Isotope and Hidrogeochemical Data in Ground Water Hydrology:** 143-158. International Atomic Energy Agency. Vienna.

Hendry, M.J.; Cherry J.A. y Wallick E.I. 1986. Origin and distribution of sulfate in fractures Till in Southern Alberta, Canada. **Water Resources Research** 22: 45-61.

Holser, W.T. e I.R. Kaplan. 1966. Isotope geochemistry sedimentary sulfates. **Chemical Geology** 1: 93-135.

Kempe, S. 1975. A computer program for hydrochemical problems in karstic water. **Ann. Speleol.** 30: 699-702.

Krothe, N.C. y R.D. Libra. 1983. Sulfur isotopes and hydrochemical variations in spring waters of southern Indiana. U.S.A. **Journal of Hydrology** 61: 267-283.

Langmuir, D. 1971. The geochemistry of some carbonate ground waters in Central Pennsylvania. **Geochemica et Cosmochimica** 35: 1023-1045.

Langmuir, D. 1984. Physical and chemical characteristics of carbonate water. In: **Guide to the hydrology of carbonate rocks.** Unesco 41: 69-131.

Le Marechal, A. y H. Teil. 1973. Application de quelques tratements statistiques aux donnes hydrochemiques des sources thermominerales du Cameroun. **Cahiers ORSTOM. Serie Geologie** 5: 217-234.

Lenardon, A.M.L. 1981. Análisis por computadora de datos hidroquímicos secuenciales. Su aplicación para el río Paraná medio. **Revista Asociación de Ciencias Naturales del Litoral** 12: 96-110.

Longinelli, A. y J.M. Edmund. 1983. Isotope geochemistry of the Amazon Basin: a reconnaissance. **Journal of Geophysical Research** 88: 3703-3717.

Meisler, M. y A.E. Becker. 1967. Hydrogeologic significance of calcium-magnesium ratios in ground water from carbonate rocks in the Lancaster quadrangle Sotheastern Pennsylvania. In: **Geological Survey Research. 1967. U.S. Geological Survey Professional Paper** 575-C: 232-235.

Menduiña, J.; S. Ordóñez y M.A. García del Cura. 1984. Geología del yacimiento de glauberita de Cerezo del Río Tirón (Provincia de Burgos). **Boletín Geológico y Minero** 94: 33-51.

Pierre, C. y J.CH. Fontes. 1979. Oxigene 18, carbone 13, deuterium et soufre 34: marqueurs geochimiques de la diagenese et du paleomilieu evaporitiques du Messinien de la Mediterranee. **Bull. Mus. Nath. Hist. Nat. Paris** 4º ser. 1: 3-18.

Plummer, L.N.; H.L. Vacher; F.T. MacKenzie; O.P. Bricker y L.S. Land. 1976. Hydrogeochemistry of Bermuda: a case history of ground water diagenesis of biocalcarenites. **Geological Society of America Bulletin** 87: 1301-1316.

Pollard, C.A.J.; S.A. Mulaik y W. Scottparks. 1976. Multivariate analysis of Georgia coastal plain groundwaters. **Completion report. Georgia Inst. Tech. Atlanta, Environmental Resources Center**, ERC-0676. 100 pp.

Polvorinos del Rio, A.J. 1984. Análisis factorial de dos campañas de prospección hidrogeoquímica en el Burgo de Osma (Soria). **Boletín Geológico y Minero** 95: 246-254.

Rightmire, C.T.; F.J. Jr. Pearson; W. Back y B.B. Hanshaw. 1979. Distribution of sulfur isotopes of sulfates in groundwaters from the principal artesian aquifer of Florida and Edwards aquifer of Texas. USA. **I.A.E.A. Proc.** Se. nº ST1/PUB/373.2. Isotope Techniques in groundwaters hydrology: 191-207.

Robinson, B.W. y F. Al Ruwaih. 1985. The stable-isotopic composition of water and sulfate from Raudhatain and Umn Al Aish freshwater fields, Kuwait. **Chemical Geology (Isotope Geoscience Section)** 58: 129-136.

Rumeau, J.L. y C. Sourisse. 1975. Essai de classification et d'explication genetique d'un ensemble d'eaux de formation. Exemple des eaux de L'Albo-Aptien du bassin de Lacq. **Bulletin de Centre de Recherches de Pau** 9: 215-222.

Salomons, W. y W.G. Mook. 1976. Isotope geochemistry of carbonate dissolution and reprecipitation in soils. **Soil Science** 122: 15-24.

Stueber, A.M.; A.D. Baldwin; M. Ikramuddin y P. Pushkar. 1973. Strontium, calcium and isotopic composition of strontium in underground waters from Scioto river basin, Ohio. **Ohio State Univ., Columbus. Water Resources Center.** Final report. 46 pp.

Utrilla, R.; C. Pierre; F. Ortí Cabo; L. Rosell; M. Inglés y J.J. Pueyo Mur. 1987. Estudio isotópico de los sulfatos en formaciones evaporíticas mesozoicas marinas y terciarias continentales. Aplicación a la Cuenca del Tajo. **II Congreso de Geoquímica de España** 91-94.

Wigley, T.M.L. 1973. Chemical solution of the system calcite-gypsum-water. **Canadian Journal of Earth Sciences** 10: 306-315.

Williams, R.E. 1982. Statistical identification of hidraulic connections between the surface of a mountain and internal mineralized sources. **Ground water** 20: 466-478.

Williams, A.G.; J.L. Ternan y M. Kent. 1983. Stream solute sources and variations in a temperate granite drainage basin. In: **Dissolved loads of rivers and surface water quantity, quality relationships. Proceedings of the Hamburg Symposium, August** 1983. IAHS. 141:299-310.

Yegorov, V.V. y N.I. Gorina. 1975. Salt associations in soils of the Caspian Lowland as related to their genesis. **Soviet Soil Science** 6: 654-660.

An. Aula Dei 19(3-4):361-372.

Praderas temporales y cultivos forrajeros anuales en rotaciones de cultivos en el secano del Maestrazgo aragonés

por **M. HYCKA** y **A. ARMERO**

Estación Experimental de Aula Dei, ZARAGOZA

Recibido: 5-VI-1989

ABSTRACT

Hycka, M. and A.Armero (1989). Temporary sown grasslands and annual forage crops in crop rotations on dryland of South Aragón. **An. Aula Dei 19(3-4):361-372.**

The possibilities of temporary sown grasslands and annual forage crops introduction in crop rotation systems on dryland of South Aragón (Spain) is studied and analyzed. It is concluded that such possibilities can be economically profitable and beneficial for the local dryland agriculture. Compared to the actual cropping system (cereal-fallow rotation), the new rotation, including fora ge species, contribute to the raising of land revenue and to the maintenance of soil fertility.

INTRODUCCION

La necesidad de reducir, temporal o permanentemente, la superficie dedicada al cultivo de cereal en muchos secanos de Aragón es real y es inminente. Tal necesidad emana de la política económica del país (en este caso directrices del Mercado Común Europeo) y de la falta de rentabilidad de muchas tierras. Su abandono no es deseable porque conduce hacia su desertización y degradación.

Entre los pocos cultivos posibles, los más importantes parecen ser los forrajeros y pratenses, ya que pueden sentar las bases de un relanzamiento de la produción ganadera, son mejorantes de la fertilidad del suelo y de su estructura y constituyen uno de los mejores mecanismos contra la erosión tanto eólica como pluvial.

En el presente estudio se analizan los datos obtenidos, durante los años 1984-1988, en un ensayo que se ha desarrollado en el Maestrazgo aragonés, (Teruel).

MATERIAL Y METODOS

1. Localización del ensayo

Esta ubicado en el término municipal de Alcalá de la Selva, a 1475 m sobre el nivel del mar.

2. Descripción de la zona

2.1. El clima. - De acuerdo con la clasificación de Papadakis (Atlas Agroclimático Nacional de España, 1986) el ensayo esta situado en la zona de clima mediterráneo-húmedo; la precipitación anual es de 544 mm de los que 146 mm corresponden a la primavera, 145 al otoño, 146 al verano y 108 al invierno. (Datos de Alcalá de la Selva). Esta distribución regular hace que el suelo disponga casi siempre de suficiente humedad para abastecer y mantener vivo cualquier tipo de cultivos de los llamados de secano.

Las temperaturas máximas absolutas de los meses de julio-agosto no pasan de 26°, mientras las mínimas de enero llegan a -10°. Esto permite que los cultivos muestren un activo crecimiento prácticamente durante todo su ciclo vegetativo (marzo- octubre) y obliga a que permanezcan parados (dormancia invernal) durante el resto del año.

2.2. Los suelos.-Son pardo-calizos sobre material consolidado, horizontes A-B(C). Entre ligeramente ácidos y alcalinos, y se caracterizan por su bajo contenido en carbonatos totales y en fósforo asimilable, medio en potasa asimilable y entre bueno y mediano en materia orgánica. Muestran buena estructura física con un ligero contenido de cascajo muy fino.

2.3. Los cultivos y la flora pascícola.- Los cultivos básicos de la comarca son los cereales, principalmente cebada, que se cultiva con el sistema de "año y vez" o también con el de "cereal sobre cereal". Son frecuentes los campos de esparceta y también de alfalfa de secano que los agricultores denominan "mielga". Muchos bancales estan abandonados y se han convertido en praderas naturales aprovechadas a diente o a diente y guadaña.

Entre la flora espontánea son frecuentes especies pascícolas de gran calidad como Dactylis glomerata, Festuca rubra, Arhenatherum elatius, Phleum pratense, Festuca ovina, Lolium perenne, Lotus corniculatus, Trifolium sp., Onobrychis montana, Anthylis sp., Medicago sp.

3. Diseño

El ensayo consta de tres variantes de rotación que incluyen: pradera polifita temporal de 4 a 6 años de duración, y alternativas cereal-veza y veza-cereal, dispuestas en bloques al azar con tres repeticiones, y parcelas de 100 * 10 m (Fig. 1).

3.1. Preparación de la cama sementera.- El ensayo se replanteó sobre el rastrojo de cereal en octubre del año 1984; y se tomaron muestras de tierra, parcela por parcela, para su correspondiente análisis químico.

A finales de febrero de 1985 se labró con monosurco de vertedera a unos 30 cm de profundidad y se abonó con superfosfato de cal de 18 % a razón de 72 Ud/ha las parcelas destinadas a pradera, 47 Ud/ha las destinadas a cebada y con 36 Ud/ha las destinadas a veza. Se repitió la misma operación en años posteriores para la siembra de las especies anuales con abonados similares a los descritos.

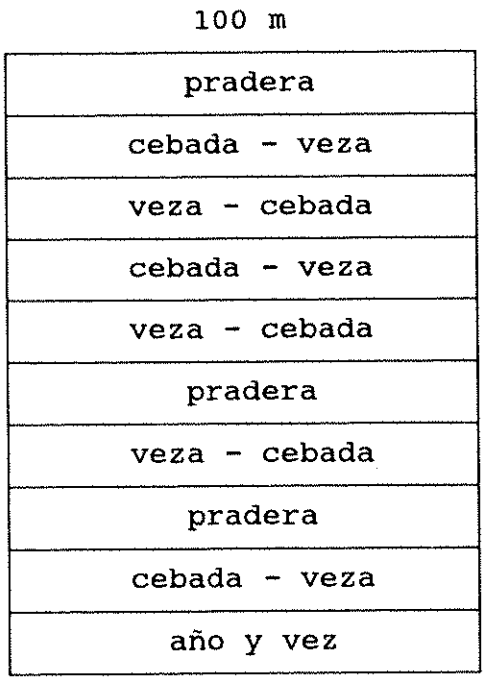

Fig. 1.- Diseño del ensayo

3.2. Siembra.- La siembra de las parcelas se realizó el 12 de marzo de 1985, con sembradora de precisión. Teniendo en cuenta el poder germinativo de las distintas especies, las dosis de siembra en kg/ha y número de granos viables por m² fueron:

	kg/ha	gr/m²
- Cebada Trait Union	150	380
- Veza "del comercio"	120	255
- Pradera polífita:		
+ Alfalfa Adyta	10	435
+ Esparceta del Bajo Aragón	20	110
+ Dactilo Adac 1	10	772

Las siembras posteriores de las especies anuales, siguiendo las respectivas rotaciones, se realizaron el 22 de diciembre de 1985 (cebada Aurora y veza Adeza 46A); el 4 de noviembre de 1986 (Cebada Streptoe y veza Adeza 46A) y el 15 de marzo de 1988 (trigo B-3 y veza Adeza 46A). El retraso de esta última siembra se debió a la inclemencia del tiempo durante el otoño.

4. Cuidados culturales

Durante las primaveras de 1985 y 1986 las parcelas ocupadas por la pradera se vieron invadidas por el cardo (Cirsium arvense),la mostaza silvestre (Sinapis arvensis) y erisimo oriental (Erysinum orientale). Se eliminaron mediante escarda manual y las correspondientes siegas de forraje. No se observó ninguna invasión de malas hierbas en las parcelas de veza ni de cereal; tampoco en las de praderas a partir del verano de 1986.

A la salida del invierno los cereales recibieron, todos los años, un aporte de nitrógeno en cobertera de 50 a 60 Ud/ha. En las mismas épocas las praderas fueron abonadas, también en cobertera, con abonos complejos 12-24-8 (año 1986) o 15-15-15 (años 1987 y 1988) a 300 kg/ha. La veza no recibía abonos en cobertera.

5. Recolección

Se aplicaron dos sistemas, muestreo a mano y mecánica.

Llegado el momento de la recolección, veza al final de la floración, cebada en el momento de la madurez fisiológica del grano y praderas al inicio de la floración de la especie más precoz (1er corte) y en el momento de la máxima acumulación de biomasa (cortes posteriores), se procedía al muestreo de las cosechas. En cinco puntos de cada parcela elegidos al azar se recolectaba a mano una superficie de 1 m^2 de extensión. En las praderas se separaban a mano sus componentes florísticos que se pesaban en verde y en seco. En el cereal se obtenían los datos de granos y paja. Las muestras de veza se pesaban en verde y en seco sin ningún tipo de separaciones.

Terminado el muestreo manual se procedía a la recolección mecánica. Los últimos rebrotes otoñales, así como las rastrojeras de cereales y vezas se consumieron "a diente" por el ganado vacuno.

6. Estudios complementarios

Todas las primaveras, al comienzo del rebrote de las plantas, se realizaba, el conteo del número de individuos de cada especie por m^2 para determinar la persistencia de los componentes florísticos de la pradera, su participación en la cobertura del suelo y su competitividad mutua.

En pleno estío (últimos de julio-primeros de agosto) se recogían, todos los años, parcela por parcela, muestras de la capa laborable del suelo para proceder a su análisis químico y estudiar las posibles variaciones en su composición. Se realizaban, al mismo tiempo, sondeos hasta 75 cm de profundidad con el fin de trazar el perfil hídrico de cada parcela y relacionarlo, si hubiere lugar, con los cultivos y sus alternativas. Estos muestreos y sondeos se hacian en cinco puntos por parcela.

RESULTADOS Y DISCUSION

1. Nascencia y establecimiento

El primer conteo de plantas se realizó a los 80 días de la siembra. Los resultados se resumen en el Cuadro 1.

Se señala entre paréntesis la proporción de plantas establecidas con respecto al número de granos viables sembrados, se observó una gran uniformidad de nascencia en todas las parcelas y un buen equilibrio florístico en las praderas. La cobertura del suelo se estimó en un 80 a un 90 %.

2. Persistencia de las especies pratenses

El Cuadro 2 contiene los datos de los conteos de plantas en plena producción. Se presentan las medias aritméticas de los muestreos, y la proporción de plantas supervivientes con respecto a las originalmente establecidas. Se observa una fuerte reducción de

Cuadro 1.- Nascencia y establecimiento de plántulas

Pradera	Nº de plantas por m²			
	Rep I	Rep. II	Rep. III	Medias
Alfalfa	68(15,63)	60(13,79)	60(13,79)	63(14,48)
Esparceta	28(25,45)	23(20,91)	25(22,73)	25(22,73)
Dactilo	68(8,81)	45(5,83)	61(7,90)	58(7,51)
TOTALES	164(12,45)	128(9,72)	146(11,09)	146(11,09)
Veza	98(43,56)	102(45,33)	80(35,56)	93(41,3)

Cuadro 2.- Persistencia de las especies pratenses

Años	Nº de plantas por m²			
	Alfalfa	Esparceta	Dactilo	TOTALES
1985	63(100)	25(100)	58(100)	146(100)
1986	38(60,32)	24(96,00)	28(48,28)	91(62,33)
1987	25(39,68)	18(72,00)	24(41,38)	67(45,89)
1988	21(33,33)	11(44,00)	24(41,38)	56(38,36)

las tres especies sembradas, aunque, tal como se verá mas adelante, esta reducción no se refleja en las producciones. Los "patios" dejados por los individuos desaparecidos por causa de la competencia entre las especies y/o por causa del calor y la sequía o de bajas temperaturas, iban siendo ocupados por los hijuelos o ramificaciones de los supervivientes y la cobertura del suelo se mantenía uniforme.

3. Producciones

Se consideran sólo las deducidas de los muestreos, ya que reflejan con mayor precisión la producción real de cada parcela y de cada variante de rotación.

3.1. Pradera.-Los datos referentes a las producciones obtenidas en la pradera se resumen en el Cuadro 3.

Cuadro 3.- Producciones, en kg/ha anuales, parciales y totales de la masa verde y de heno secado en la estufa, obtenidas en las praderas, incluyendo la relación entre la masa verde y la seca.

Año	Rep	CORTE Nº 1º verde	1º seco	2º verde	2º seco	3º verde	3º seco	TOTAL AÑO verde	TOTAL AÑO seco	Relación verde seco 1º corte	2º corte	3º corte	total año
1985	I	1.780	540					1.780	540	3,30			3,30
	II	2.220	880					2.220	880	2,52			2,52
	III	2.260	940					2.260	940	2,40			2,40
	media	**2.090**	**790**					**2.090**	**790**	**2,65**			**2,65**
1986	I	10.430	2.940	4.140	1.000	2.930	650	17.500	4.590	3,55	4,14	4,50	3,81
	II	8.860	2.760	3.600	1.030	3.430	800	15.890	4.590	3,21	3,50	4,18	3,46
	III	10.440	3.210	4.920	1.360	2.500	740	17.860	5.310	3,25	3,62	3,38	3,36
	media	**9.910**	**2.970**	**4.220**	**1.130**	**2.953**	**730**	**17.083**	**4.830**	**3,34**	**3,73**	**4,05**	**3,54**
1987	I	9.020	3.500	890	360	1.050	290	10.960	4.150	2,58	2,47	3,62	2,64
	II	11.570	4.400	1.090	390	1.200	320	13.860	5.110	2,63	2,79	3,75	2,71
	III	13.840	3.620	1.820	550	1.150	290	16.810	4.460	3,82	3,31	3,97	3,77
	media	**11.480**	**3.840**	**1.270**	**430**	**1.130**	**300**	**13.880**	**4.570**	**2,99**	**2.95**	**3,77**	**3,04**
1988	I	16.740	3.400	4.200	1.200			20.940	4.600	4,92	3,50		4,55
	II	20.260	4.240	4.400	1.100			24.660	5.340	4,79	4,00		4,62
	III	23.100	4.820	4.500	1.300			27.600	6.120	4,79	3,46		4,51
	media	**20.030**	**4.150**	**4.360**	**1.200**			**24.390**	**5.350**	**4,83**	**3,63**		**4,56**

Como puede observarse, en el primer año del ensayo se dió un solo corte (7 de agosto) con producción muy reducida. Esto es lógico: en los secanos, como el que nos ocupa, durante el primer año la planta vivaz, sembrada en primavera, tiende a enraizar y a afianzarse en el suelo y produce realmente muy poco. Comienza a producir a partir del 2º año en que se dieron hasta tres cortes (11 de junio, 31 de julio y 4 de noviembre) al igual que en el 3º en que también se dieron tres cortes (3 de junio, 27 de julio y 27 de octubre). En el año 1988, o sea durante el cuarto año de ensayo se dieron solo dos cortes (6 de junio y 21 de julio); la sequía estival ralentizó el crecimiento del césped y no hubo corte otoñal. Sin embargo la producción total anual siguió la curva ascendente, debido sobre todo, a las lluvias primaverales y al buen vigor de los componentes florísticos dominantes en la pradera concretamente de la alfalfa y el dactilo.

3.1.1. Composición florística del forraje de pradera.- En el Cuadro 4 se resumen los datos referentes a la composición florís-

tica del heno de la pradera. Son medias aritméticas de los muestreos (5 muestras por repetición y corte) y de los años.

Cuadro 4. - Composición floristica del heno de la pradera, por años y cortes (en % del total).

Año	Corte Nº	Alfalfa	Dactilo	Esparceta
1985	1º	60.01	16,25	23,74
	2º(*)	62,75	32,00	5,25
	media anual	**61,38**	**24,13**	**14,49**
1986	1º	59,41	22,43	18,16
	2º	56,37	37,70	5,93
	3º	46,99	47,53	5,48
	media anual	**54,26**	**35,89**	**9,86**
1987	1º	23,72	64,69	11,59
	2º	61,40	35,43	3,17
	3º	48,37	50,47	1,16
	media anual	**44,50**	**50,20**	**5,30**
1988	1º	28,19	71,81	ip.
	2º	70,83	29,17	ip.
	3º(*)	45,00	55,00	ip.
	media anual	**48,01**	**51,99**	**ip.**

(*) Consumo "a diente"; proporción estimada.

Se deduce de estos datos que durante el primer año y al comienzo del segundo domina aún la alfalfa y que a partir de entonces se establece un aceptable equilibrio entre esta y el dactilo; la observación visual mostraba, por otro lado, que la esparceta iba perdiendo vigor de manera que su contribución a la producción decrecía ya que a pesar de mantenerse una notable proporción de plantas éstas eran débiles y poco desarrolladas.

El terreno donde está el ensayo es de condición neutra o ligeramente ácida con nula o reducida proporción de carbonatos, mientras que la alfalfa es calcícola y requiere suelos alcalinos; por esta razón su "agresividad" frente al dactilo se atenua y ambas especies conviven en cierta armonía, máxime cuando las raicillas de alfalfa ocupan horizontes más profundos del suelo mientras que las de dactilo se extienden por los más superficiales. El antagonismo entre la alfalfa y la esparceta siendo ambas especies de raices profundas y pivotantes parece deberse a que las de alfalfa son mas "agresivas".

3.1.2. Relación entre la masa verde y la seca del forraje.- Tal como puede apreciarse en el Cuadro 3 los coeficientes de relación entre la masa verde y el heno desecado oscilan entre 4.83 y 2.65,

dependiendo, sobre todo, de la humedad del ambiente en el momento de la recolección.

3.2. Veza.- Las producciones anuales de forraje de veza, en verde y en seco, se especifican en el Cuadro 5. Oscilan entre 13.627 y 21.300 kg/ha en verde y entre 2.390 y 4.450 en seco. Los índices medios de reducción de verde a seco oscilan, a su vez, entre 3.74 y 6.00 hecho que se relaciona sobre todo con las condiciones meteorológicas en el momento de la siega.

Cuadro 5.- Producciones anuales de forraje de veza, en verde y seco (kg/ha).

Año	Repetición	verde	seco	Rel v/s
1985	I	14.760	2.180	6.77
	II	14.560	2.560	5.69
	III	13.770	2.430	5.65
	media	**14.350**	**2.390**	**6.00**
1986	I	16,520	4.440	3.72
	II	15.620	4.400	3.55
	III	12.220	2.860	4.27
	media	**14.787**	**3.900**	**3.79**
1987	I	14.660	4.000	3.67
	II	10.520	2.860	3.68
	III	15.700	4.060	3.87
	media	**13.627**	**3.640**	**3.74**
1988	I	18.600	4.100	4.54
	II	21.300	4.500	4.73
	III	23.900	4.800	4.98
	media	**21.300**	**4.450**	**4.79**

Salvo la del primer año, son producciones mas bajas que las obtenidas en las praderas y los índices de reducción son en general mas altos. El forraje verde de veza, parece mas suculento que el de las especies componentes de la pradera. La baja producción del 1er año se debe seguramente a la procedencia de la semilla ("veza comercial"). Las siegas de este forraje se realizaron el 28 de junio de 1985 , 26 de junio de 1986, 19 de junio de 1987 y 12 de junio de 1988.

3.3. Cereal en rotación con veza.- Las producciones de cereal se resumen en el Cuadro 6. Las medias anuales oscilan entre 2.510 y 3.296 kg/ha de grano y entre 2.328 y 2.670 kg/ha de paja. Los coeficientes de relación entre el grano y la paja se situan alrededor de 1, con oscilaciones desde 0,86 hasta 1,40.

Cuadro 6.- Producciones anuales de cereal (kg/ha).

Año	Repetición	grano	paja	Rel g/p
1985	I	2.420	2.480	0.98
	II	2.450	2.120	1.16
	III	2.660	3.080	0.86
	media	**2.510**	**2.560**	**0.98**
1986	I	3.611	3.116	1.16
	II	3.419	2.444	1.40
	III	2.859	2.449	1.17
	media	**3.296**	**2.670**	**1.23**
1987	I	2.180	2.342	0.93
	II	1.950	2.068	0.94
	III	2.660	2.574	1.03
	media	**2.267**	**2.328**	**0.97**
1988	I	2.600	2.600	1.00
	II	3.300	2.500	1.32
	III	2.200	2.000	1.10
	media	**2.700**	**2.367**	**1.14**

En los tres primeros años del ensayo se utilizó la cebada, en el cuarto trigo, no observándose diferencias en sus producciones. Tampoco se observan diferencias que pudieran relacionarse con la época de la siembra: primaveral (año 1985 y 1988) u otoñal (años 1986 y 1987) ni a la influencia del cultivo anterior, en este caso veza para forraje.

3.4. Cereal sobre barbecho.- Las producciones de cebada que se obtuvieron en una parcela cultivada por el sistema de "año y vez", fuera del ensayo, fueron 2.720 kg/ha de grano y 2.810 kg de paja en el año 1985 y 2.108 kg/ha de grano y 2.600 kg/ha de paja en el año 1987, muy similares a las obtenidas en las rotaciones cereal-veza o veza-cereal.

3.5. Resumen.- En el Cuadro 7 se resumen las producciones anuales, totales y medias de los distintos cultivos en cada rotación incluida la parcela de "año y vez". Se deduce de estos datos que el valor del producto de la pradera y de la rotación "año y veza" es muy superior al obtenido en el sistema "año y vez".

Cuadro 7.- Resumen de las producciones en kg/ha.

Años	Pradera		Cebada-Veza				Veza-Cebada -Trigo				Cebada "año y vez"	
Alternativas	verde	seco	grano	paja	verde	seco	verde	seco	grano	paja	grano	paja
1985	2.090	790	2.510	2.560			14.350	2.390			2.720	2.810
1986	17.083	4.830			14.787	3.900			3.296	2.670		
1987	13.880	4.570	2.267	2.328			13.627	3.640			2.108	2.600
1988	24.390	5.350			21.300	4.450			2.700	2.367		
TOTALES	57.443	15.540	4.777	4.888	36.087	8.350	27.977	6.030	5.996	5.037	4.828	5.410
media anual	14.360	3.885	1.194	1.222	9.022	2.087	6.994	1.508	1.499	1.259	1.207	1.353
precios unitarios		14,0	25,0	1,0		10,0		10,0	25,0	1,00	25,0	1,0
valores parciales		54.390	29.850	1.222		20.875		15.080	37.475	1.259	30.175	1.353
TOTALES	54.390		51.947				53.814				31.528	

4. Influencia de las alternativas sobre el suelo

4.1. Indices de fertilidad.- La característica principal del suelo de la parcela donde está ubicado el ensayo es su escaso e incluso nulo contenido en carbonatos totales ($CaCO_3$). Solo las cuatro primeras parcelas del ensayo muestran un cierto contenido en estos compuestos, en las demás tal contenido es nulo. Esta condición se mantiene prácticamente inalterable a lo largo de los cuatro años del ensayo que se comentan en el presente trabajo.

Los niveles iniciales en materia orgánica, nitrógeno y fósforo asimilable no muestran variaciones significativas que pudieran achacarse a la repetitividad de las alternativas.

Las reducciones del potasio asimilable fueron altamente significativas cuando se trataba de los años, pero no lo fueron en cuanto a tratamientos o sea a las alternativas. En este sentido tampoco hubo variaciones en los demás índices de fertilidad. Puede que el tiempo transcurrido no fuera suficiente para provocarlas.

Se observa además, que las reducciones de potasio se produjeron, sobre todo en los dos primeros años después de la implantación del ensayo, cuando no hubo aportes de potasa con los abonados de fondo; en los años posteriores, cuando los abonados incluían su correspondiente proporción de este elemento, su nivel experimentó una ligera recuperación y se mantuvo, prácticamente, inalterado. En la parcela de "año y vez" la reducción fué menos drástica.

4.2. Perfil hídrico.- De los datos referentes al contenido de humedad en los diferentes horizontes del suelo se deduce que no hubo diferencias significativas que pudieran relacionarse con los tratamientos .o sea con las rotaciones ensayadas, aunque sí se observa una ligera tendencia hacia un mayor agotamiento de la hume-

dad, sobre todo del subsuelo, en las parcelas ocupadas por la pradera. Se presentaron diferencias significativas entre años, debidas básicamente a las variaciones de precipitación.

Estos datos indican, por otro lado, que en las comarcas del Maestrazgo Aragonés y en otras zonas similares a la de la ubicación del ensayo, la pradera temporal afecta sólo mínimamente a la humedad del suelo y por ello no puede perjudicar a los cultivos que la sigan.

RESUMEN

En el presente trabajo, se estudian las posibilidades de sustituir el actual sistema de aprovechamiento de los secanos del Maestrazgo Aragonés, que se conoce como "año y vez" por otras alternativas que incluyan praderas temporales y cultivos forrajeros anuales. Los datos aportados demuestran que tales posibilidades son muy reales; las nuevas alternativas pueden elevar la renta de la tierra y pueden sentar bases para un nuevo relanzamiento del desarrollo ganadero de la comarca.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen muy sinceramente a las Sras. Abad Espiau y Becerrica Olmos, miembros del equipo de investigación "Plantas pratenses y forrajeras" por su valiosa colaboración en todas las tareas de planificación, planteamiento y realización del presente trabajo.

Agradecen asimismo su entusiasta colaboración a D. Joaquín Lozano Cabañero, propietario de la finca "Los Olmos" donde se ubicó el ensayo.

BIBLIOGRAFIA

Azcárate, Y.C. (1965) El cultivo de los prados en la lucha contra la erosión. **Agricultura** 289: 274-278.

Davies, W. (1962) Praticultura. Ed. Acribia. Zaragoza

Fillat, F.; L. Villar (1975) Valor de los pastizales en la recuperación de los terrenos deforestados y erosionados. **Pastos** 5(2): 493-499.

García Castellón, F. (1966) Alternativas de secano con mayor producción forrajera y posibilidades de suprimir el barbecho. Bol. "Cuatro estaciones". Valladolid.

Hidalgo, F. (1973) La alfalfa, un cultivo para secano. Ed. INIA. Serie: Producción vegetal.

Hycka, M. (1959) Praderas sembradas en los terrenos cultivados de secano. **Agricultura** 349: 209-264.

Hycka, M. (1974) Praderas artificiales en los secanos de condición extrema. **Pastos** 4(2): 170-190.

Hycka, M. (1977) Praderas de secano. III Jornadas pirenaicas sobre ganado lanar: 19-37. Huesca.

Hycka, M. (1980) Pastizales y praderas. I Jornada provincial de ganado ovino: 21-34. Teruel.

Hycka, M.; A. Armero (1987) Praderas temporales y cultivos forrajeros anuales en la comarca aragonesa de "La Hoya de Huesca"; ensayo de rotación de cultivos; primeros resultados. **Acta XXVII Reunión Científica de la SEEP:** 115-149.

Lloveras, Y. (1982) Estudio comparativo de la producción de praderas y rotación de cultivo en Galicia. **Pastos** 12(1):145-155.

Miró Granada, L. (1962) Mejora de praderas por siembra en las zonas de clima sub húmedo. **III Reunión Científica de la SEEP.** Madrid.

Molina, J.A. (1975) Alfalfa in the dryland of Aragón. **Proc. 6th Gen. Meet. Eur. Grass. Fed.:** 135-140.

Montserrat, P. (1960) Pastos para el secano aragonés. **Publ. Inst.Bot. Aplic.** 32: 97-158.

Oram, M.M. (1955) Pastures and fodder crops in rotations in mediterranean agriculture. **IV Reunión Grupo de Trabajo sobre pastos y fomento forrajero.** Lisboa.

Plancquaert, P.; J. Boison (1975) Comparacion de producciones forrajeras en distintas alternativas de cultivo. **Pastos** 5(1): 247-253.

Remón Eraso, J. (1981) El prado temporal en Cantabria. **An. Inst. Estud. Agropec.** 5: 161-195. Santander.

Remón Eraso, J. (1982) El prado temporal en Cantabria. **An. Inst. Estud. Agropec.** 6: 55-96. Santander.

Webber, G.D. (1975) The ley farming system in South Australia. 22pp.

An. Aula Dei 19(3-4):373-377.

Numerical taxonomy of maize landraces: comparison between experimental designs

by R.A. MALVAR, A.M. de RON and A. ORDAS*

Misión Biológica de Galicia, Apartado 28, PONTEVEDRA
* Granja Modelo - CIMA, Apartado 46, VITORIA

Received: 17-X-89

Key words: maize landraces, Zea mays L., numerical taxonomy, experimental design.

ABSTRACT

Malvar, R.A.; A.M. de Ron and A. Ordás. 1989. Numerical taxonomy of maize landraces: comparison between experimental designs. An. Aula Dei 19(3-4):373-377.

Seventy three maize (Zea mays L.) landraces from Northwestern Spain were grown according to two different experimental design. The first one (design A) was a randomized complete blocks design with two replications per trial at two locations for two years. The second design (design B) is simpler than the first one: the populations were grown at one location without replications for three years.

Numerical taxonomy of these landraces was made according to results of the field trials using the different experimental designs. Clustering, after principal components analysis on the basis of 11 quantitative traits, showed that the two maize landraces classifications are quite similar. For this reason when the number of populations is high, a simple design may be more efficient in numerical classification of maize landraces.

INTRODUCTION

In most maize breeding programs improvement is accompanied by a decrease in genetic diversity. This reduces the potential variability available to the breeder for selection, and more importantly, the commercial product has increased vulnerability and faces an increased risk of economic loss from new pathogens, insect pest or unusual environment stress (Duvick, 1986).

From this point of view the maize landraces preservation is necessity. The next step is to evaluate these base populations and

to know the phylogenetic and taxonomic relationships among them. This step is an essential prerequisite for an efficient and wise utilisation of genetic resources in breeding programs.

During the last years many classifications of landraces of maize have been carried out, most of them according to numerical taxonomy methods based on quantitative traits. However, the measures can often be biased by particular environmental conditions but these biases can be avoided growing the landraces in different environments using an experimental design like randomized complete blocks with replications in both space and time (Cochran and Cox, 1965). However, a high number of landraces evaluated in field trials arranged according to this design would mean a substantial human and material effort. In this case a simpler design could be more adequate.

In this paper we present a study of 73 landraces from Galicia (Northwestern Spain). Two different experimental designs were used. The first one (design A) was a randomized complete blocks design with two replications per trial and it was carried out at two locations for two years. The second design (design B) was simpler than the first one, the landraces were grown at one location without replications for three years.

Our main objective is to compare the differences in distribution of populations into clusters arising from numerical classifications based on the results of field trials carried out according to the two different experimental designs.

MATERIALS AND METHODS

The study reported here includes 73 landraces from Galicia (Northwestern Spain) maintained in the maize collection at the Misión Biológica de Galicia.

In 1984 and 1985 these populations were grown in two locations in Pontevedra (Spain) according to the design A. Plots consisted of two rows with 80 cm between rows and sown with 15 two-kernel hills per row, spaced 30 cm apart. One plant per hill was left after thinning leaving a plant population density of approximately 42000 plants/ha. With design A eight measures per landrace were obtained for each quantitative trait considered.

In 1985, 1986 and 1987 the 73 populations were also grown in Pontevedra using design B. The unit plot used had the same characteristics as the unit plot used in the design A. In this case three measures per population were obtained for each trait.

In all experimental plots data were taken on days to pollen shedding and silking, plant and ear height, length of the ear, kernel rows per ear, kernel characteristics (length, weight and texture) and finally, cob proportion and cob colour. These traits were measured or determined by the standard methods. Previous studies with these populations have shown that these quantitative characters have a considerable amount of genetic variance, and can be considered appropiated for numerical taxonomy purposes (Ron and Ordás, 1987; Ron, 1987).

Before clustering the landraces a principal components analysis was carried out in order to find uncorrelated composited variables. Only those standardized components which explained per-

centages of variability greater than 1% were taken into account in following clustering computations. Cluster analyses were done by the UPGMA method with euclidean distances as the measures of the dissimilarity among populations.

RESULTS AND DISCUSSION

In the principal components analysis of the results of field trials using design A, eight standardized components explained percentages of variability greater than 1% and accounted for 98,3% of the total variability. Figure 1 (A) Shows the dendrogram with classification of landraces into twelve groups after cluster analysis.

In the other case nine standardized components, which explain 98,7% of the total variability, were used for clustering. This analysis gives eleven groups as shown in the dendrogram in the Figure 1 (B).

Correlations between the cophenetic matrix of cluster analysis arising from design A and design B shows a coefficient value of 0.81, which can be considered relatively high. As far as the distribution of the populations into clusters is concerned, it is shown to be quite similar in both cases. Only 15 populations of 73 (those that are marked with * in the Figure 1) cannot be confidently placed within a particular group.

We must also take into account that when the number of landraces evaluated is high, it is very costly to carry out an experiment with replications in two locations during two years. Usually a complete design is used to evaluate low numbers of populations (Goodman, 1967; Camussi et al., 1983), but when the number of landraces is high, simpler designs may be used with six or less measures per trait and population (Alvarez and Lasa, 1987; Camussi, 1979; Goodman and Mc Bird, 1977; Goodman and Paterniani, 1969).

For these reasons the use of simple designs in maize landraces evaluation and numerical classification may be more efficient when the number of landraces involved is high.

RESUMEN

Se han clasificado, mediante métodos numéricos, 73 poblaciones de maíz del Noroeste de España utilizando para los ensayos de campo dos diseños experimentales. El primero (diseño A) es un diseño de bloques aleatorios con dos repeticiones realizado en dos localidades durante dos años. En el segundo (diseño B) las poblaciones se ensayaron en una localidad, sin repeticiones durante tres años.

Sobre la base de los resultados obtenidos en los ensayos de campo se llevó a cabo la clasificación taxonómica de las poblaciones. Para ello, se realizó un análisis de los componentes principales seguido por un análisis de grupos, empleando 11 caracteres cuantitativos.

La clasificación de las poblaciones cuando se utiliza el diseño experimental A es similar a la que se obtiene cuando se utiliza un diseño más sencillo como el B. Por ello en la evalua-

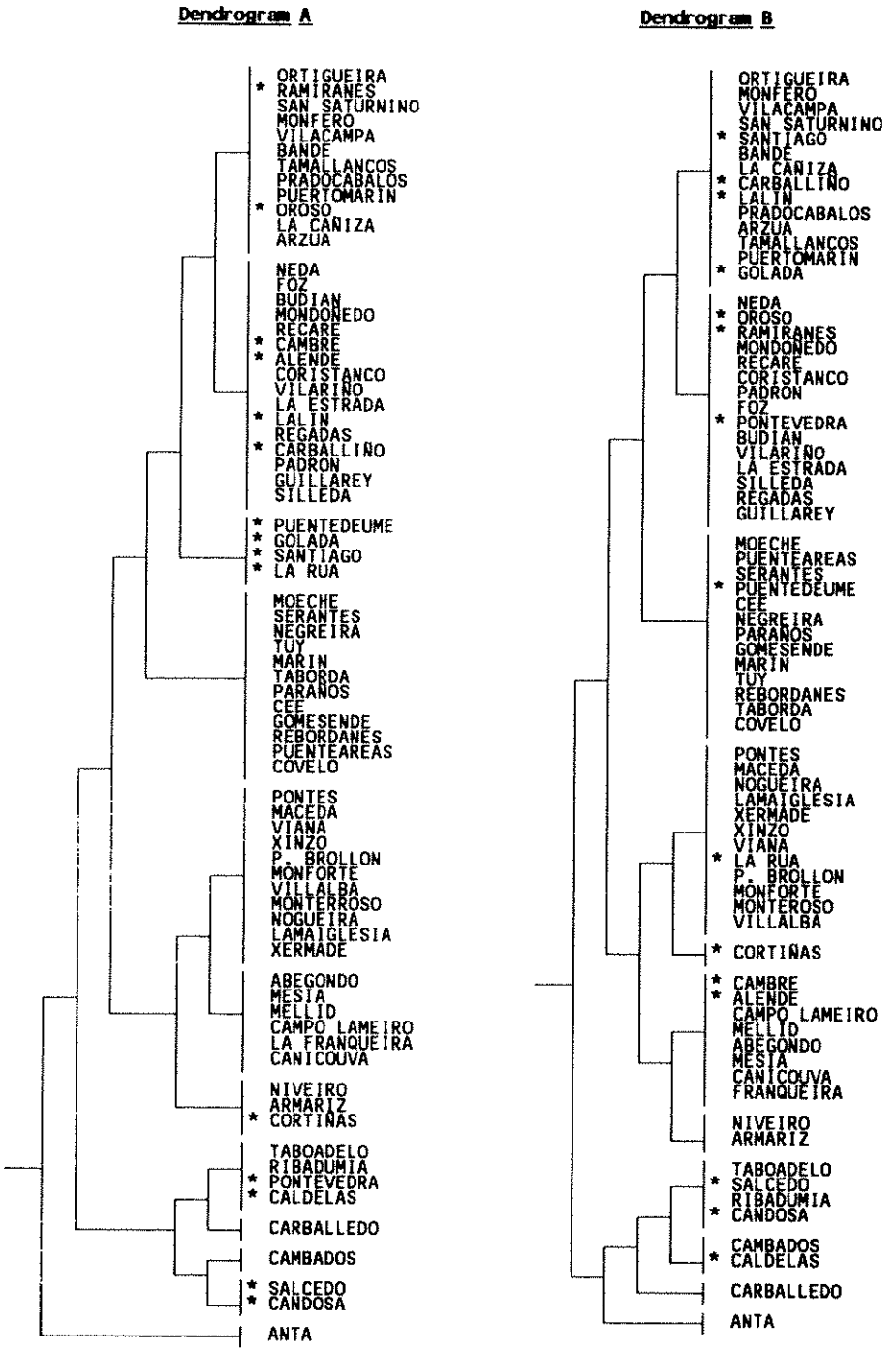

Figure 1. Dendrograms showing distribution of populations into clusters according to the two different (A and B) experimental designs employed.

ción de elevado número de poblaciones con finalidad taxonómica, puede resultar más adecuado y eficaz un diseño experimental sencillo.

REFERENCES

Alvarez, A. and J.M. Lasa. 1987. Asturian populations of maize II. Numerical taxonomy based on quantitative traits. **An. Aula Dei** 18 (3-4): 187-198.

Camussi, A. 1979. Numerical taxonomy of Italian populations of maize based on quantitative traits. **Maydica** 24: 161-174.

Camussi, A.; P.L.; Spagnoletti Zeuli and P. Melchiorre. 1983. Numerical taxonomy of Italian maize populations: genetic distances on the basis of heterotic effects. **Maydica** 28:411-424.

Cochran, W.G. and G.M. Cox. 1957. Experimental designs. John Wiley and Sons, Inc., New York, USA.

Duvick, D.N. 1986. Plant breeding: Past achievements and expectations for the future. **Econ. Botany** 40: 289-297.

Goodman, M.M. 1967. The races of maize: I. The use of Mahalanobis' generalized distances to measure morphological similarity. **Fitotecnia Latinoamericana** 4: 1-22.

Goodman, M. M. and E. Paterniani. 1969. The races of maize III: choices of appropriate characters for racial classification. **Econ. Bot.** 23: 265-273.

Goodman, M.M. and R. Mc Bird. 1977. The races of maize IV: tentative grouping of 219 Latin America races. **Econ. Bot.** 31: 204-221.

Ron, A.M. de. 1987. Estudio genético y taxonómico de las poblaciones gallegas de maíz (Zea mays L.). Universidad de Santiago de Compostela. España.

Ron, A.M.; A. Ordás. 1987. Genetic study of non-ear characters in maize. **Plant Breeding** 98: 268-271.

NORMAS DE PRESENTACION DE ORIGINALES

Si fuera posible, los originales deben enviarse grabados en disquette con el procesado de textos "Wordstar". Si no se dispone del mismo pueden enviarse en formato ASCII. En otro caso podrán presentarse mecanografiados y siguiendo las instrucciones indicadas más adelante.

La fecha límite para entrega de originales es el 31 de Octubre. La aceptación del Comite de Redacción se notificará en un plazo máximo de treinta días desde su recepción. La evaluación externa se realizará con anterioridad al 31 de Enero, enviando seguidamente los originales a los autores para que realicen las modificaciones que, en su caso, sugieran los evaluadores. Los trabajos corregidos deberán estar en poder del Comite de Redacción con anterioridad al 1 de Marzo. Durante este mes se procederá a la impresión del volumen para su distribución durante el mes de Abril.

INSTRUCCIONES

Como norma general se recomienda la ordenación siguiente: 1) Encabezamiento, 2) Abstract, 3) Introducción, 4) Material y Métodos, 5) Resultados, 6) Discusión, 7) Conclusiones, si procede, 8) Agradecimientos, 9) Resumen, 10) Referencias. Estas cabeceras deben escribirse centradas, en negrita, a tres líneas del párrafo anterior y separadas dos líneas del siguiente.

Tras punto y aparte se iniciará la línea con sangrado a cinco espacios.

Si existen subapartados, se presentarán sin sangrar, en minúsculas y negrita; continuando el texto a un espacio.

El número total de líneas por página es de 55 y la anchura de escritura incluye 66 caracteres. Las páginas deben numerarse a lápiz en una esquina. Si existiera pié de página deberá situarse en la línea 55, ó anteriores en caso necesario, separándolo del texto por una línea continua.

Los nombres latinos deberán ir subrayados.

Título

Debe ir centrado, en negrita y minúsculas, a siete líneas del margen superior. Si requiere más de una línea, con doble separación entre ellas, y centradas.

Autores

Deben ir centrados, en negrita y mayúsculas, a dos líneas del Título, en formato:

by(por) **A. PEREZ, J.A. PUIG and(y) R. SANCHEZ**

Dirección

A dos líneas por debajo de los Autores, en formato:

Instituto, Dirección Postal. CIUDAD.

Palabras clave (Key words)

A siete líneas de la Dirección, en minúsculas. El encabezamiento en negrita.

Abstract

El texto, a dos líneas con formato:

Pérez, A.; J.A. Puig and R. Sánchez. (1988). Título (en inglés). **An. Aula Dei 19(1-2):**(7 espacios para paginación).
The incidence of water loss.....

Referencias

Deben ordenarse según el alfabeto español, siguiendo el modelo de los artículos que aparecen en la Revista.

Cuadros y Figuras

Adjuntar en hoja aparte los pies ó cabeceras de Figuras ó Cuadros (respectivamente) que no hayan sido incluidos en el texto. Antes y después de cada Cuadro ó Figura dejar dos líneas en blanco. Utilizando el formato siguiente:

Cuadro 1.- Relación estequiométrica de los pigmentos fotosintéticos respecto a la clorofila a.

Fotografías

Caso de necesidad de incluir fotografías, estas se presentarán en papel brillante, blanco y negro, dejando el espacio preciso para su emplazamiento y con inclusión del pié explicativo.

Si las fotografías fueran en color, su costo de impresión correrá a cargo del autor.

Agradecimientos

Si se trata de un texto, colocarlo en el lugar señalado. Si se trata de una referencia a la fuente de financiación se colocará como pié en la primera página.

Idioma

Los originales podrán presentarse en idioma inglés ó español.

El Comite de Redacción agradece muy sinceramente la colaboración de los evaluadores, que a continuación se reseñan, por su labor en los volúmenes 18 y 19.

Dr. N.O. Bosemark
Hilleshög Research AB
P.P. Box 302
S-26123 Landskrona Suecia

Prof. Jesús Cuartero Zueco
Estación Experimental La Mayora
CSIC
Algarrobo Costa Málaga

Prof. José Ignacio Cubero
E.T.S. Ingenieros Agrónomos
Alameda del Obispo s/n Córdoba

Dr. Ignacio Delgado Enguita
Servicio de Investigaciones Agrarias
Zaragoza

Prof. Francisco Díaz Fierros Viqueira
Departamento de Edafología, Facultad de Farmacia
Universidad de Santiago de Compostela

D. Rafael Gella
Servicio de Investigaciones Agrarias
Zaragoza

Dr. Mateo Gutiérrez Elorza
Cátedra de Geomorfología
Universidad de Zaragoza

Dr. M.D. Hayward
University College of Wales
Welsh Plant Breeding Station
Plas Gogerddan. NearAberystwyth
SY23 3EB DYFED Gran Bretaña

Prof. Julio López Gorge
Estación Experimental del Zaidín
CSIC
C./ Profesor Albareda, 1 18008 Granada

Dr. Ariel Lugo
Southern Fores Experiment Station
Institute of Tropical Forestry
Box AQ Rio Piedras Puerto Rico 00928

Dr. José Luis Molina Cano
La Cruz del Campo, S.A.
Apartado 53 41007 Sevilla

Dr. José Luis Montoya
Dep. Cereales y Leguminosas, S.I.A.
Apartado 733 47080 Valladolid

Prof. Pedro Montserrat
Instituto Pirenaico de Ecología
Apartado 64 Jaca, Huesca

Dr. Jesús Moreno
Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias
José Abascal, 56 28003 Madrid

Dr. Amando Ordás Pérez
Granja Modelo CIMA
Apartado 46 01080 Vitoria

Dr. Fernando Pliego Alfaro
Centro de Investigación y Desarrollo Agrario
DGIEA, Junta de Andalucía
Churriana Málaga

Dr. José Quirantes Puertas
Estación Experimental del Zaidín
C./ Profesor Albareda, 1 18008 Granada

Prof. Luis Rallo Romero
Departamento de Pomología, E.T.S. Ingenieros Agrónomos
Universidad de Córdoba 14080 Córdoba

Prof. Enrique Sánchez Monge
Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos
Ciudad Universitaria 28040 Madrid

Dr. Juan Tena Calvo
Departamento de Petrografía, Facultad de Ciencias,
Sección Geología.
Universidad de Zaragoza

Dr. Valero Urbina
ETSIA
Alcalde Rovira Roure, 177
Lérida

ANALES DE LA ESTACION EXPERIMENTAL DE AULA DEI

Volumen 19 1988 - 1989

INDICE

F. NUEZ, J. CUARTERO, C. FERRANDO, M.S. CATALA y J. COSTA.- Genetic model for the inheritance of the parthenocarpy in the tomato line '75/59' 7

K.A.A. MOUSTAFA.- New induced resistance genes against powdery mildew on chromosomes 4 and 5 of barley 13

C. DE LA TORRE, M. GIMENEZ-ABIAN y G. GIMENEZ-MARTIN.- A novel approach to study the regulation of cell proliferation 19

A. REFOYO y L.M. MARTIN.- Aplicación del modelo de Hayman Jinks al estudio de la genética del contenido en grasa de girasol (Helianthus annuus L.) 31

C. CUADRADO, P.TORRES y C. ROMERO.- The effect of rye B-Chromosomes in wheat-rye hybrids 37

M.A. SANCHEZ-MONGE.- La investigación sobre patata (Solanum tuberosum L.) en España (1933-1988) 45

R. NARANJO.- Identificación de los cromosomas de trigo del triticale "Cachirulo" por homología con los de Triticum aestivum 55

J.L. MOLINA-CANO, J.M. RAMOS, L.F. GARCIA DEL MORAL y F. ROCA DE TOGORES.- Agrophysiological analysis of several near-isogenic lines of barley under Mediterranean conditions 63

F.A. ROMERA, J.M. VEGA, M. DIEZ y M.J. PUERTAS.- Polymorphism for isozyme loci in relation with the polymorphism for B-chromosomes in rye populations 79

J.F. LOPEZ-SAEZ, A. GONZALEZ-FERNANDEZ, P. HERNANDEZ, E. ZAMORANO y M.H. NAVARRETE.- Mechanism of G2-Repair to preserve chromosome integrity and its inhibition by caffeine 89

J.L. OLIVER y J.M. MARTINEZ-ZAPATER.- Evolución de genes cloroplásticos emigrados al nucleo en trigo y guisante. 115

C. ROYO, I. ROMAGOSA, J.A. MARTIN y A. MICHELENA.- Estabilidad de los componentes del rendimiento en triticale . 125

A. MARTIN, T. MILLAN y J. FERNANDEZ-ESCOBAR.- Morfología y citología del híbrido y anfiploide Hordeum chilense x Secale cereale 135

C. RUIZ-REJON, R. LOZANO y M. RUIZ-REJON.- Genetic variability in Muscari comosum (Liliaceae). III. Enzyme polymorphism in European and Canarian populations 143

J.J. GONZALEZ-AGUILERA, P. LUDEÑA REYES y A.M. FERNANDEZ-PERALTA.- Método de análisis cariotípico por ordenador: Su aplicación en especies de la sección Bulbocodii D.C. del género Narcissus L. 151

P. GARCIA, C. SOLER y N. JOUVE.- New germplasm for triticale breeding: Cytogenetic studies in segregant progenies of the cross 6x-Triticale-Triticum aestivum L. ... 169

A. GONZALEZ, L. ORTIZ y M.C. CHUECA.- Variabilidad en la obtención de haploides e híbridos triploides en cruzamientos H. vulgare x H. bulbosum 179

A. DELIBES, I. LOPEZ-BRAÑA, M. MENA y F. GARCIA-OLMEDO.- Introgression of Aegilops truncialis into Triticum aestivum. A progress report 189

R. SANCHEZ-MONGE, F. GARCIA-OLMEDO, L. GOMEZ, J. ROYO, P. CARBONERO y G. SALCEDO.- Genetic of the α-Amylase/Trypsin inhibitor family in wheat and related species 195

A. ORDAS.- Mass selection for earliness in two populations of maize 207

J.R. LACADENA.- Trisomic inheritance 213

J.M. DIAZ-MINGUEZ, E.A. ITURRIAGA y A.P. ESLAVA.- Efecto de la cafeina sobre las lesiones inducidas por nitrosoguanidina y luz ultravioleta en Phycomyces blakesleeanus 219

R. VIEIRA, W. VIEGAS y T. MELLO-SAMPAYO.- Stage-dependent centromere structure in mitosis and meiosis 231

J.M. CARRILLO, M. RODRIGUEZ DE QUIJANO, A. GALIANO, B. HAMIE, J.F. VAZQUEZ y J. ORELLANA.- Composición en gluteninas de alto peso molecular de variedades de trigo blando registradas en España y su relación con la calidad panadera 239

M.C. TABUENCA y M.A. MORENO.- Incompatibilidad entre Patrón e Injerto. Comportamiento de un ciruelo como patrón de distintas especies frutales 251

J.M. LASA e I. ROMAGOSA.- Mejora de cebadas para secanos españoles en la Estación Experimental de Aula Dei 265

A. GARCIA and J.M. LASA.- Seed vigour tests for predicting field emergence of maize under severe conditions 279

M.A. MORENO.- Características descriptivas del patrón ciruelo "Adara" 293

A. NAVAS.- Una ecuación cinética para calcular la velocidad de disolución de rocas yesíferas en los cauces de la Cuenca del Ebro 301

A. NAVAS.- Implicaciones geomorfológicas del contacto en los cauces entre las litofacies yesíferas y las aguas circulantes en la Cuenca del Ebro 313

A. NAVAS.- Incorporación de los yesos a las aguas circulantes en el contacto directo en los cauces de la Red Hidrográfica del Ebro 321

A. NAVAS.- Una metodología experimental para el estudio del transporte de solutos y sedimentos por la escorrentía superficial sobre suelos calcáreos y yesíferos 335

A. NAVAS.- La participación de los yesos en la salinización de las aguas superficiales de la Cuenca del Ebro 345

M. HYCKA y A. ARMERO.- Praderas temporales y cultivos forrajeros anuales en rotaciones de cultivos en el secano del Maestrazgo aragonés 361

R.A. MALVAR, A.M. de RON and A. ORDAS.- Numerical taxonomy of maize landraces: comparison between experimental designs 373