

# BIOGEOQUIMICA DE ECOSISTEMAS



Selección de trabajos presentados al  
XI SIMPOSIO INTERNACIONAL SOBRE  
BIOGEOQUIMICA AMBIENTAL  
(ISEB XI)

Salamanca (España)  
27 de Septiembre a 1 de Octubre, 1993

Edición dirigida por el  
Dr. Juan F. GALLARDO LANCHO

Publicado por la  
Consejería de Medio Ambiente  
Junta de Castilla y León  
Valladolid, 1994



Eu: "Biogeoquímica de Ecosistemas"  
J. F. Gallardo (ed). *Colección de  
Medio Ambiente. Valladolid (1994). 179-190.*

118

## MODIFICACION EDAFICA DEL AGUA DE LLUVIA EN BOSQUES CADUCIFOLIOS EN LA SIERRA DE GATA (PROVINCIA SALAMANCA).

Inmaculada Menéndez, Gerardo Moreno, Juan F. Gallardo y Julio Saavedra.  
I.R.N.A./C.S.I.C., Apartado 257, Salamanca 37071.

### RESUMEN

Se estudia la dinámica de nutrientes en el agua en tres bosques de *Quercus pyrenaica* y uno de *Castanea sativa*, localizados en la Sierra de Gata, Provincia de Salamanca), siguiendo un gradiente pluviométrico (720-1580 mm/año), y con diferentes sustratos rocosos (granito calcoalcalino, esquistos y grauwacas). Las muestras de agua en el suelo se obtuvieron a varias profundidades (desde 15 a 110 cm), durante un ciclo anual, con cápsulas de cerámica porosa con succión. El agua de trascolación también fué analizada.

El pH del agua de trascolación fué 0.7 puntos más alto que el de la solución edáfica. También se observa un pH de la solución edáfica inferior al del suelo. Aluminio soluble y pH presentan una clara correlación negativa en la solución edáfica. Na<sup>+</sup> es el ión más independiente en el sistema.

Los cationes mayoritarios en el agua transcolada fueron: K>Ca>Na>Mg, y en la solución edáfica fueron: Si>K>Ca>Mg>Na>Al. Hay un incremento general de bioelementos de la solución hídrica en los horizontes orgánicos, pero el reciclado de nutrientes en esos horizontes parece ser efectivo.

### ABSTRACT

A study of forest water was carried out in three *Quercus pyrenaica* and one *Castanea sativa* sites (Sierra de Gata mountains, NW-SPAIN), with a rainfall gradient (720-1580 mm/year), and different parent substrates (calcoalkaline granite, schists and graywackes). Soil-water samples were obtained at various depths (from 15 to 110 cm), during one annual cycle, using porous ceramic-cup suction samplers. Throughfall waters were also collected.

The pH of the throughfall water is 0.7 point higher than soil solution. A lower pH of the soil relative to soil water is observed. Al and pH in soil water present a quite good negative correlation. Na is the most independent ion.

The main cations of the throughfall solution were: K>Ca>Na>Mg, and in soil solution the main ones were: Si>K>Ca>Mg>Na>Al. There is a general increase of soil solution concentration in the soil organic horizon, but the nutrient recycling seems to be very effective.

## 1. INTRODUCCION Y OBJETIVOS.

El agua de lluvia al, pasar a través de la canopia forestal (transcolación), sufre un cambio importante en su composición química, y modificaciones posteriores a su paso por los diferentes horizontes del suelo. Las reacciones que ocurren en el perfil edáfico están condicionadas por la composición del agua proveniente del lavado arbóreo (Ugolini *et al.* 1977, Stevens *et al.* 1989). De este modo, los principales modificadores de la composición del agua que circula a través del ecosistema forestal son la canopia y el substrato (Feller 1977; Edmonds *et al.* 1991; Alvarez *et al.* 1992), siendo también determinantes otras fuentes como la proximidad costera o de algún foco contaminante (industrias, vertederos, etc.).

El objetivo de este trabajo es el conocimiento de las variaciones que sufre el agua al pasar de la canopia al suelo y en que medida influyen éstos; por otro lado, también se abordan las posibles relaciones entre los parámetros de la solución edáfica.

## 2. MATERIAL Y METODOS.

### 2.1. LUGAR DE ESTUDIO.

Se han delimitado para el estudio cuatro parcelas experimentales en la Sierra de Gata ( Provincia de Salamanca); tres de ellas de *Quercus pyrenaica*, y una cuarta de *Castanea sativa*, seleccionadas bajo la perspectiva de un gradiente pluviométrico (700-1600 mm anuales), diferenciando litologías: granitos calco-alcalinos, grauwacas y esquistos moteados. Los suelos son Cambisoles húmicos y, en uno de los casos, gleico. En la tabla 1 se detallan las características generales de cada parcela.

### 2.2 PROCEDIMIENTOS DEL MUESTREO DE CAMPO.

Agua de transcolación: Se utilizaron 12 pluviómetros al azar en cada parcela, colocándose fijos a 1,5 m de altura.

Solución edáfica: El agua del suelo fue recogida en lisímetros con tensión tipo Soilmoisture. Los tubos de PVC, de 4.82 cm de diámetro y de varias longitudes, fueron colocados a 15, 30, 60, 90 y 110 cm de profundidad. Las cápsulas de cerámica utilizadas son de 2 bares de entrada de aire. La succión aplicada fué de 76-80 cb, mantenida mediante llaves de cierre. Las soluciones se recogieron en botes de polietileno, cada dos semanas aproximadamente, salvo en los meses en los que el suelo alcanza los 2 bares de sequedad. Para el lavado previo a la colocación de los tubos se utilizó agua desionizada, ya que el lavado con ácidos favorece una mayor absorción del fósforo (Botcher *et al.* 1984).

El tiempo de muestreo abarca del 5/III/'92 al 7/VII/'93 para Fuenteguinaldo y Navasfrías, siendo el inicio de Trevejo y Villasrubias algo posterior (9/VI/'92 al 7/VII/'93), correspondiendo a un ciclo hidrológico.

Esquema de colocación de los tubos: a) Parcela granítica y de roble (Fuenteguinaldo), tubos a 15, 30, 60, 90 y 110 cm; b) parcela granítica y de castaño (San Martín de Trevejo), tubos a 25, 60, 90 y 110 cm; c) parcela de esquistos y de roble (Villasrubias), tubos a 15, 30 y 60 cm; d) parcela de esquistos moteados y roble (Navasfrías), tubos a 15, 30, 60 y 90 cm de profundidad.

## PROCEDIMIENTOS ANALITICOS DE LABORATORIO.

La conductividad (medida con un conductivímetro digital WTW (LF-91), el pH (medido con un Beckman 3500 con un electrodo Ingold 405-57/120), y el D.O.C. se determinan en las 48 horas posteriores a la recogida de muestra.

Las muestras de solución de suelo no se filtraron y las restantes se pasaron por lana de vidrio lavada. Se separaron dos alícuotas: una sin acidificar, para análisis de aniones; y otra acidificada con ácido nítrico hasta un  $\text{pH} < 2$ , y conservadas todas a  $4^{\circ}\text{C}$ . Los iones analizados fueron: Na y K por fotometría de llama; Ca y Mg por absorción atómica; Fe, Cu, Mn, Zn, Al y Si por ICP; cloruros, sulfatos y nitratos por cromatografía líquida.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSION.

El pH del agua que llega al suelo sufre un aumento al llegar al horizonte húmico del suelo, de aproximadamente 0.7 puntos, reestableciéndose prácticamente a los mismos valores tras atravesar este último horizonte. El aumento del pH al llegar al suelo lo explican algunos autores tales como Edmonds *et al.* (1991), como el resultado de procesos de neutralización y de equilibrio con el complejo de cambio del suelo.

Los valores medios de pH del suelo (tabla 2), van de 6.3 a 15 cm, hasta 5.7 a 90-110 cm, por tanto, el pH del suelo en este caso (4.8-4.9) también es menor que el de la solución edáfica, cuya explicación podría venir dada por la salida de bases del complejo de cambio hacia la solución del suelo, reemplazándolas por  $\text{H}^+$ ; a la adsorción por parte del suelo de los ácidos orgánicos de la solución, y por el fenómeno de meteorización, que requiere  $\text{H}^+$ . (Feller 1977; Edmonds *et al.* 1991; Nätscher & Schwertman 1993). Por el contrario, con otras técnicas de extracción del agua edáfica, como es el caso de la centrifugación (Falkengren-Grerup & Tyler 1993), esta relación de pH se invierte. El pH y el Al presentan una buena correlación negativa (-0,5), hecho avalado por trabajos como los de Stevens *et al.* (1989) y Alvarez *et al.* (1992).

La conductividad mantiene valores similares al pasar de la canopia al suelo, observándose un aumento en profundidad (hecho destacado también por Feller 1977) en dos de las parcelas (Villasrubias, la más arcillosa, y Trevejo, la de mayor drenaje). Este aumento puede proceder del arrastre de iones de los horizontes superiores, o de reacciones de equilibrio. La conductividad está bien correlacionada con todos los iones analizados, salvo el Na, que en ningún caso presenta ningún tipo de relación.

El D.O.C. no registra cambios de concentración al pasar al suelo, salvo en Villasrubias, donde aumenta considerablemente. En profundidad la disminución del D.O.C. es significativa. El D.O.C. está correlacionado con el pH, la conductividad, Al, Fe, Ca, Mg y K disueltos, siendo sin embargo baja con Si y nula con Na, Cl y nitrato. El D.O.C. parece jugar un papel menor en el mantenimiento de los metales en la solución (Heyes & Moore 1992).

El silicio incrementa de modo importante la concentración al pasar al suelo, debido probablemente a la meteorización, incorporándose este elemento al ciclo biológico del suelo (Feller 1977); el Si se correlaciona positivamente con K, Al, Ca, Mg, Zn, y S, no correlacionándose de modo significativo ni con Cl, Na, o nitrato.

El Al disuelto también aumenta al pasar al suelo, conservándose relativamente soluble con la profundidad; el Al se correlaciona positivamente con K, Ca, Mg, Fe, Mn, siendo el Cu el único con el que no se correlaciona significativamente.

No hay aumento de Na en el suelo, no ocurriendo así sin embargo con el K, que aumenta considerablemente. El Ca desciende al llegar a los horizontes superiores del suelo, restableciéndose en profundidad. El Mg pasa prácticamente inalterable por el suelo. El K, Ca y Mg son los elementos que mejor se correlacionan con el resto, siendo sin embargo el Na uno de los peores.

Sólo en una de las parcelas (Villasrubias, la más arcillosa), la concentración de Fe aumenta al pasar por el suelo por liberación o por retención. El poco Cu que entra al suelo es absorbido por este, siendo el agua que llega a los horizontes minerales muy empobrecida en este elemento. La concentración de Mn es mayor en soluciones edáficas procedentes de texturas finas, y de este modo Villasrubias destaca considerablemente. El Fe no se correlaciona significativamente ni con Cl ni con Na. El Cu tampoco lo hace con Cl, S, N, Al, siendo uno de los más independientes, junto con Na, Cl y N.

El Cl pasa por el suelo prácticamente sin variación, salvo en una de las parcelas (Navasfrías), que aumenta en los horizontes orgánicos, recuperando la concentración de entrada al suelo en profundidad. El sulfato se mantiene relativamente estable al pasar por el suelo; la ausencia de pirita y/o de rocas evaporíticas sugieren que el aporte de S al sistema sea por entrada del agua de lluvia, como el caso del Cl, en concordancia con el comportamiento similar del Cl y S en el sistema (Feller 1977). La concentración de nitrato aumenta en profundidad, al igual que ocurre en el trabajo de Edmonds *et al.* (1991);

pero al contrario que ocurre en los de Feller (1977) y Stevens *et al.* (1989). Los iones no presentan diferencias importantes, en general, al atravesar la canopia y el suelo, aunque sí se concentran, en general, algo más en el horizonte superior del suelo que en la canopia, al igual que sucede en otros trabajos (Feller 1977 y Edmonds *et al.* 1992). En cualquier caso, el reciclado de nutrientes en el horizonte orgánico es muy efectivo.

#### 4. CONCLUSIONES.

En el agua de la canopia los cationes dominantes son el K, seguido del Ca, Na y Mg. En el agua edáfica los cationes más importantes son Si, K, Ca, Mg, Na y Al. Los cambios de concentración que se detectan en la solución procedente de la canopia al penetrar en el horizonte orgánico del suelo son los siguientes: incremento de pH, de la conductividad, D.O.C., Si y Al solubles, K, Na (sólo en Trevejo), Mg, y sulfato; descenso del Na (salvo en Trevejo), Ca, Cu, Mn, Zn y nitrato (salvo en Fuenteguinaldo, que aumenta considerablemente). El Fe y el Cl mantienen sus concentraciones prácticamente inalteradas.

Los cambios en la concentración del agua procedente del horizonte orgánico y que entra en el horizonte mineral son los siguientes: incremento del Al, Na (salvo en las parcelas no graníticas, Villasrubias y Navasfrías), Ca (exceptuando Navasfrías), Mg en Villasrubias, Fe en Villasrubias y Trevejo, Mn (salvo en Navasfrías), Zn en Fuenteguinaldo y Trevejo, Cl en Trevejo, nitrato (salvo en Fuenteguinaldo) y de sulfato en Trevejo; disminuye el pH, la conductividad, D.O.C., Si, Na en Trevejo, K, Mg, Fe (en Fuenteguinaldo y Navasfrías), Zn (en las parcelas de esquistos), Cl, sulfato (salvo en Trevejo) y nitrato en Fuenteguinaldo. Quedan con concentraciones similares el Na en Fuenteguinaldo, el Mg en Trevejo y el Cu (en todos los casos).

La variabilidad de reacción según el tipo de parcela (y sustrato) se hace más acusada desde el horizonte orgánico a los horizontes minerales, mientras que la parte superior del suelo (horizonte orgánico) tiende a homogeneizar el comportamiento nutricional del sustrato (horizontes minerales).

#### **Agradecimientos:**

Este trabajo se ha desarrollado gracias a los programas STEP/D.G. XII (CEE), DGCYT/MEC y CICYT/INIA y a la colaboración de la Junta de Castilla-León.

## 5. BIBLIOGRAFIA.

- ALVAREZ, E., A. MARTINEZ & A. VEIGA (1992): Composición iónica de la disolución de los suelos de Galicia: Relación con el tipo de cubierta arbórea y material de partida. *Ecología*, 6:17-27.
- BOTTCHER, A.B., L.W. MILLER & K.L. CAMPBELL (1984): Phosphorous adsorption in various soil-water extraction cup materials: effect of acid wash. *Soil Science*, 137: 239-244.
- EDMONDS, R.L., T.B. THOMAS & J.J. RHODAS (1991): Canopy and soil modifications of precipitation chemistry in a temperate rain forest. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 55 :1685-1693.
- FALKENGREN-GRERUP, U. & G. TYLER (1993) The importance of soil acidity, moisture, exchangeable cation pools and organic matter solubility to the cationic composition of beech forest (*Fagus sylvatica* L.) soil solution. *Z.Pflanzenernähr Bodenk.*, 156: 356-370.
- FELLER, M.C. (1977): Nutrient movement through Western hemlock-Western redcedar ecosystems in Southwestern British Columbia. *Ecology*, 58:1269-1283.
- HEYES, A. & T.R. MOORE (1992): The influence of Dissolved Organic Carbon and anaerobic conditions on mineral weathering. *Soil Sci.*, 154: 226-236.
- NÄTSCHER & U. SCHERTMANN (1993): Soil solution of organic horizons in some acid forest soils. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.*, 156: 245-252.
- STEVENS, P.A., M. MORAUNG & S. HUGHES (1989): Solute concentrations fluxes and major nutrient cycles in a Matura Sitka-Spruce plantation in Beddgelert forest, North Wales. *Forest Ecology & Management*, 27: 1-20.
- UGOLINI, F.C., R. MINDEN, H. DAWSON & J. ZACHARA (1977): An example of soil processes in the *Abies amabilis* zone of Central Cascades, Washington. *Soil Science*, 124: 291-302.

**Tabla 1.-Características generales de las parcelas.**

	<b>Navasfrías</b>	<b>Villasrub.</b>	<b>Fuenteguín.</b>	<b>San Martín</b>
<b>Superf.<sup>1</sup></b>	7800	4300	9400	4600
<b>Coorden.<sup>2</sup></b>	PE835638	QE017675	PE953707	PE888560
<b>Altitud<sup>3</sup></b>	1000	900	870	990
<b>Tipo de suelo</b>	Cambisol húmico	Cambisol húmico	Cambisol gleico	Cambisol húmico
<b>Litología</b>	pizarras, grawvacas	pizarra calcoal.	granito calcoal.	granito calcoal.
<b>Pma (mm)</b>	1580	872	720	1150
<b>Nº años</b>	13	17	20	19

1: m<sup>2</sup> 2: UTM 3: m.s.n.m. Pma: Precipitación media anual



Parcelas	Horiz.	Profund.	pH	C. org.	N	P	Ca	K	T me	S me	Ca me	Mg me	K me	Na me	V
		cm	(H2O)	%	g/Kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	%	%	%	%	%	%	%
FTG	Ah	0-20	5,6	3,4	2,7	5,6	1000	80	15,2	7,6	5,6	1,7	0,3	0,0	50,0
FTG	ABw	20-30	4,9	1,1	1,1	6,3	4400	240	9,0	1,0	0,2	0,5	0,3	0,0	11,0
FTG	Bw	30-45	4,9	0,5	0,4	2,1	500	88	7,9	0,5	0,0	0,4	0,1	0,0	6,3
FTG	BC	45-70	4,6	0,2	0,3	0,2	8800	64	8,9	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	2,5
FTG	Cg	70-120	4,6	0,2	0,3	2,1	5000	88	9,1	0,8	0,4	0,1	0,1	0,1	8,8
NVF	Ah1	0-20	4,9	10,5	5,0	6,3	300	136	36,1	2,7	1,4	0,7	0,5	0,1	7,5
NVF	Ah2	20-40	4,8	5,8	3,4	2,1	100	44	25,8	0,6	0,1	0,3	0,2	0,0	2,3
NVF	Bw	40-65	5,0	0,5	0,5	3,2	100	12	14,4	0,4	0,2	0,1	0,1	0,0	2,8
VLR	Ah	0-20	4,6	6,7	4,0	7,7	300	16	25,1	1,3	0,1	0,5	0,4	0,3	5,2
VLR	Bw	20-40	5,1	1,2	1,3	1,4	200	16	9,4	0,4	0,0	0,1	0,1	0,2	4,3
VLR	C	>40	5,2	0,6	0,9	2,8	200	28	6,6	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	1,5
TRV	Ah1	0-25	5,2	3,1	1,7	3,7	300	205	17,2	3,1	1,6	1,3	0,2	0,0	18,0
TRV	Ah2	25-35	5,2	2,5	1,5	3,7	0	104	16,3	3,3	1,7	1,3	0,3	0,0	20,0
TRV	Bw	35-60	5,0	1,3	0,9	3,2	0	95	15,5	0,5	0,3	0,1	0,1	0,0	3,2
TRV	BwC	60-80	5,2	0,7	0,6	1,2	250	94	10,2	0,2	0,1	0,0	0,1	0,0	2,0
TRV	C	>80	4,9	0,3	0,3	0,6	150	79	9,4	1,0	0,2	0,1	0,1	0,6	11,0

Table 2.- Características físico-químicas de los suelos de las 4 parcelas.

	pH	Cond	DOC	Si	Al	Na	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Mn	Zn	Cl	N	S
FTG		$\mu\text{S}/\text{cm}$	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
TF	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
15-30	+0,6	-2,7	+0,0	+21,3	+21,3	-1,2	2,4	-0,5	0,6	0,0	0,0	0,0	-0,2	+0,2	+4,0	+1,1
60	-0,6	1,0	-15,2	-9,8	-9,8	1,0	-3,6	-1,2	-1,3	-0,1	0,0	0,0	0,0	-0,7	-4,3	-1,2
90-110	0,0	-4,1	-8,3	-1,9	-1,9	-1,0	-0,8	+1,3	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	+0,5	0,0	+0,3
NVF																
TF	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
15-30	+0,9	-0,3	+4,4	+4,0	+4,0	-1,2	0,1	-0,2	0,2	0,0	0,0	0,0	-0,1	+2,7	-0,3	+0,7
60	-0,3	-1,6	-10,2	-1,3	-1,3	0,8	-0,2	-0,4	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	-1,6	-0,1	-0,4
90-110	+0,1	-4,4	-1,1	-0,9	-0,9	+0,3	-0,4	-0,3	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	-1,3	+0,2	-0,6
VIL																
TF	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
15-30	+0,5	+5,4	+29,7	+8,3	+8,3	-0,3	0,7	-1,1	-0,2	0,0	0,0	-0,1	0,0	-0,4	-0,8	+0,3
60	-0,6	+23,0	+109,3	+2,8	+2,8	+1,7	+2,7	+1,1	+0,7	+0,2	0,0	+0,1	-0,1	+0,2	0,0	+1,1
90-110	-0,4	-5,3	-154,7	-2,9	-2,9	-1,3	-1,7	-0,1	-0,2	-0,1	0,0	0,0	0,0	-0,5	0,1	-0,9
TRV																
TF	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
15-30	+0,7	-15,6	+2,6	+4,0	+4,0	+0,7	+0,1	-0,6	-0,2	0,0	0,0	-0,1	-0,2	-0,2	-0,1	+1,2
60	-6,0	+15,0	-2,8	-2,0	-2,0	-0,6	+0,2	+0,1	0,0	+0,1	0,0	0,0	0,0	+0,2	0,3	+0,7
90-110	+5,5	+5,2	-2,2	+4,7	+4,7	-0,6	+0,3	+0,4	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,2	-0,2	-1,3

**Tabla 3.-** Medias anuales de las ganancias o pérdidas de nutrientes y pH en la solución hídrica a diferentes profundidades del suelo y cubierta forestal. Para cada nivel la ganancia (+) o pérdida (-) fué calculada restando a la concentración media anual (en ppm) de un nivel la correspondiente al nivel precedente. FTG: Fuenteguinaldo; NVF: Navasfrías; VIL: Villasrubias; TRV: San Martín de Trevejo. TF: Trascalación. 15, 30, 60, 90, 110 son cm de profundidad del suelo.

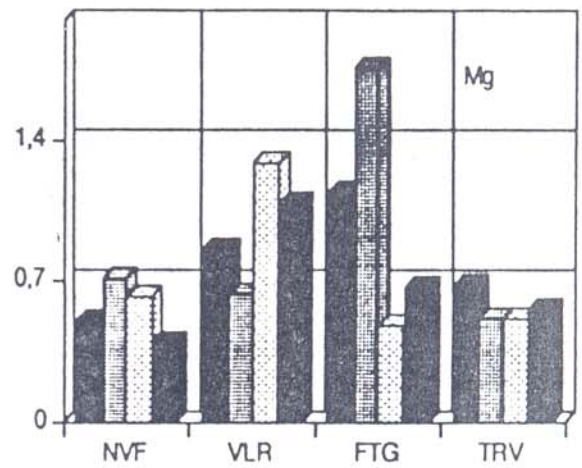
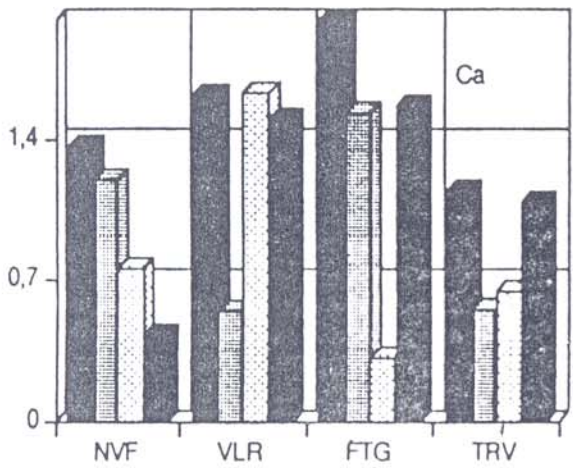
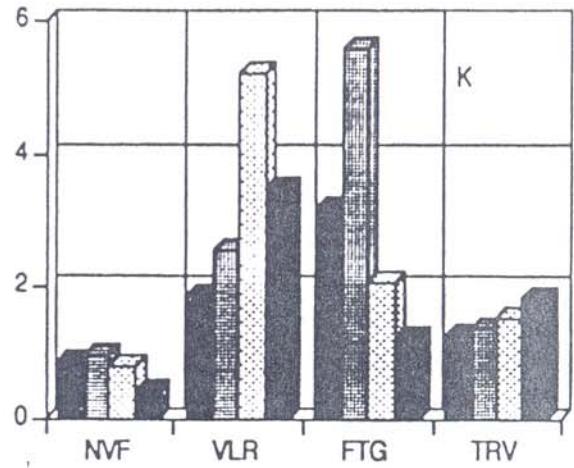
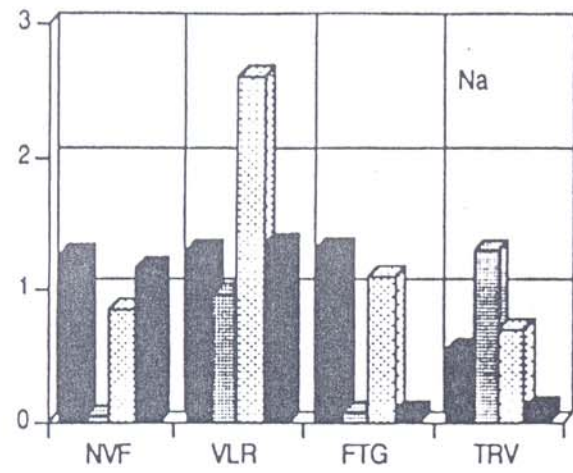
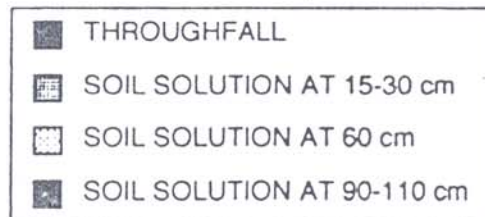


Fig 1.- Concentration, in mg/l, of the water solutions, at the different plots: NVF, VLR, FTG AND TRV.



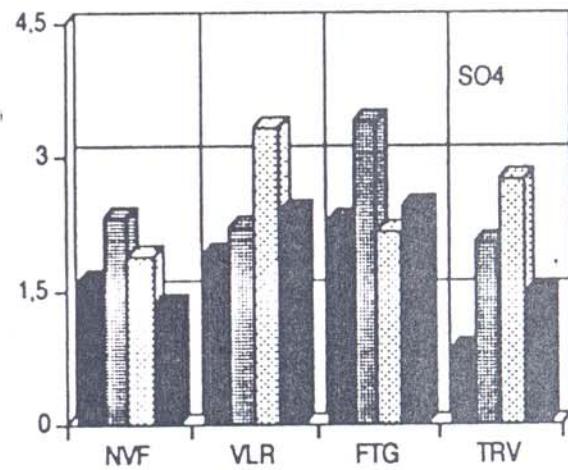
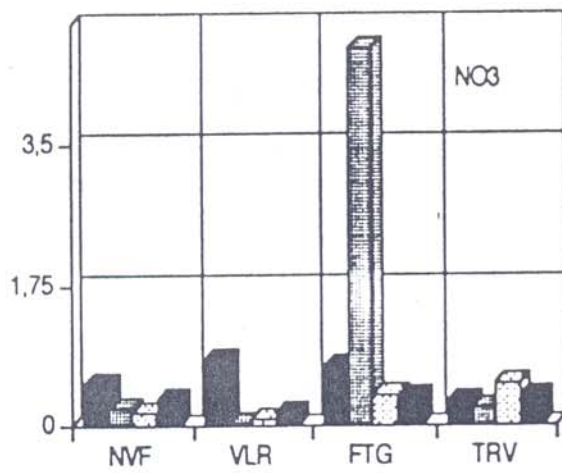
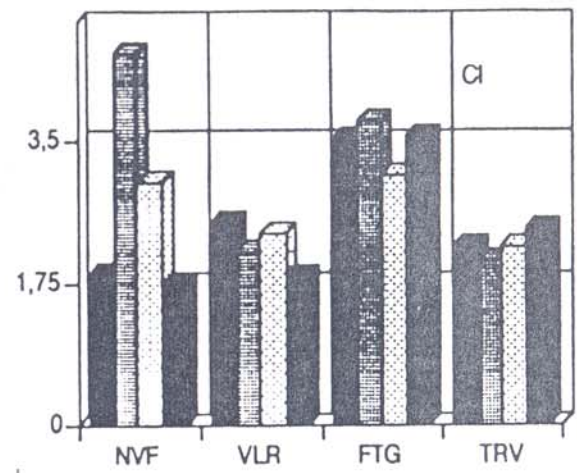
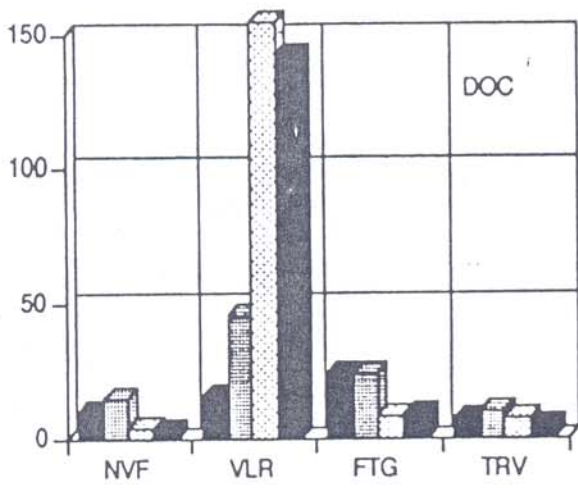
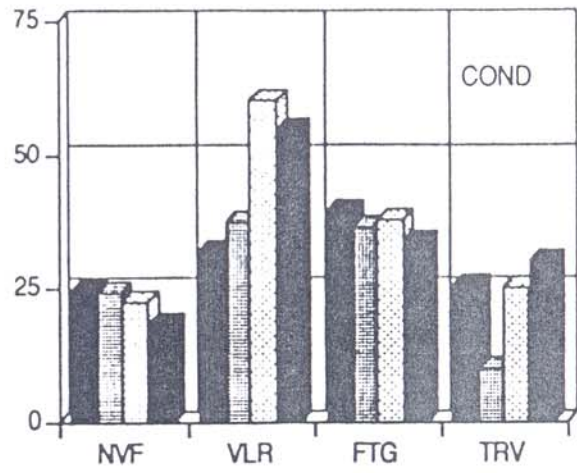
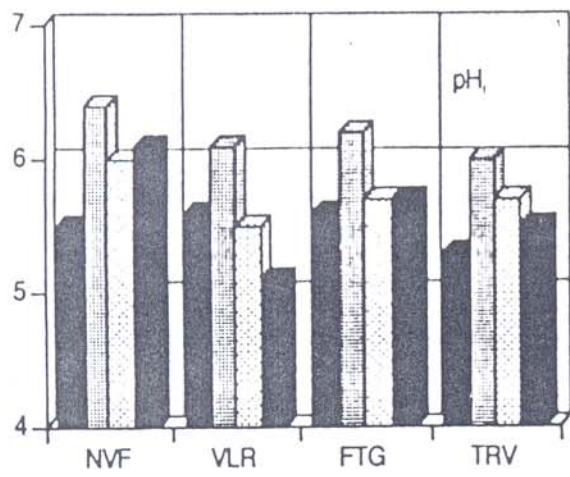


Fig 1.- Cont.

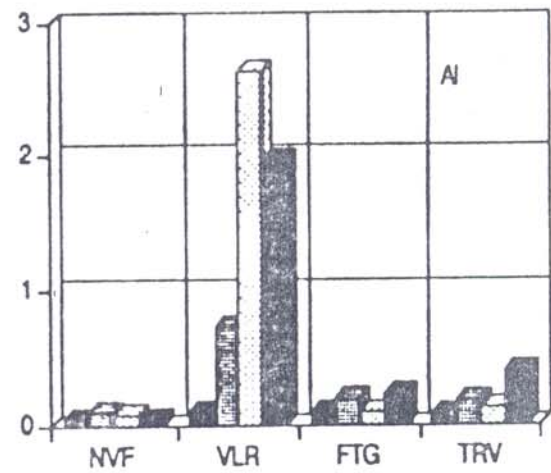
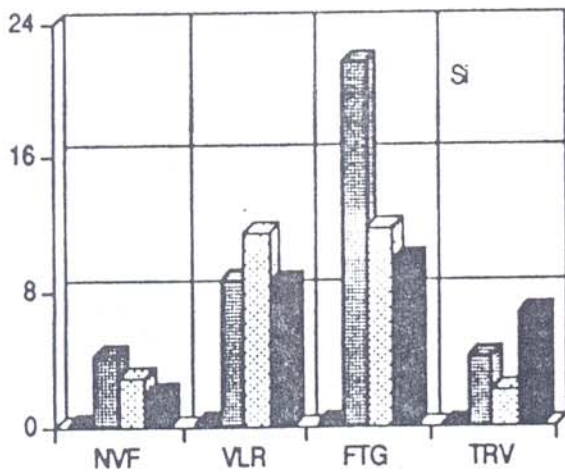
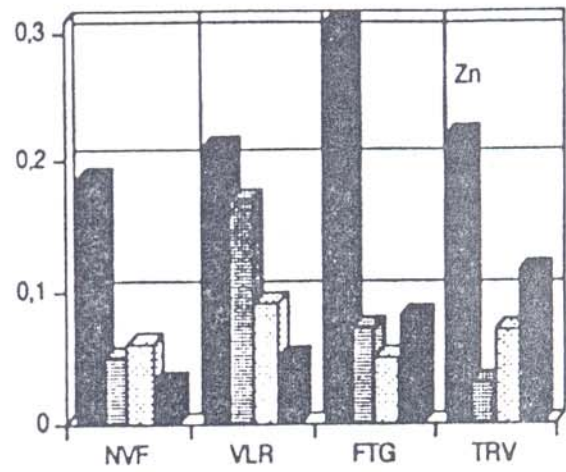
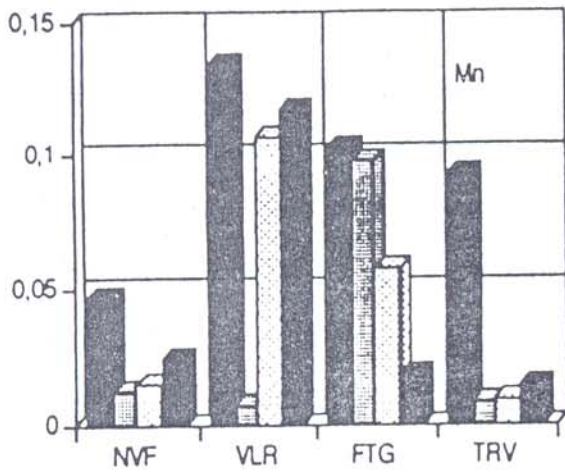
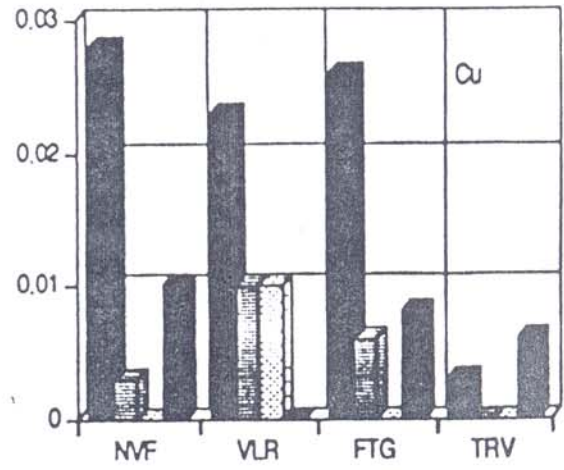
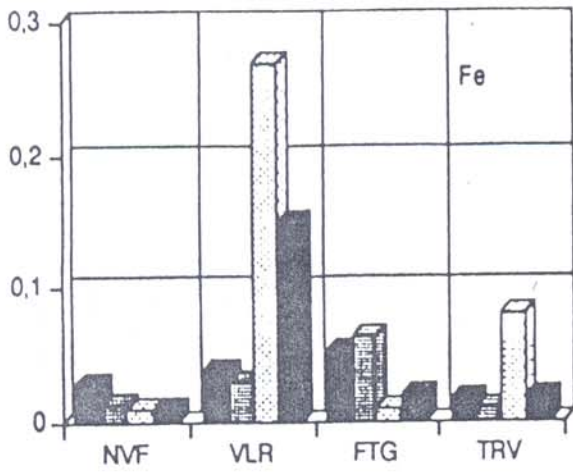


Fig 1.- Cont.