

FLUOR EN AGUAS, SUELOS Y VEGETACION DEL OESTE BONAERENSE

Raúl S. Lavado (1), Nilda B. Reinaudi (2) y Juan A. Vaquero (2)
Instituto de Geomorfología y Suelos - UNLP - Calles 532 y 14, La Plata

RESUMEN

Se estudió el contenido de fluor en suelos, aguas freáticas y vegetales del Municipio de Carlos Tejedor, utilizando un método colorimétrico y otras técnicas analíticas convencionales.

El tenor de las cuatro "poblaciones" de fluor total encontrado fue bajo y relacionado con el contenido de arcillas de los horizontes. En cambio, los valores de fluor soluble fueron elevados, altamente asociados a la alcalinidad y salinidad de los suelos y a la profundidad de la capa freática. Se estudió además la relación entre el fluor y varios componentes de los suelos. El fluor total no se correlacionó con el fósforo asimilable, el calcáreo ni con el carbono orgánico, mientras que el fluor soluble tampoco lo hizo con el fósforo ni el calcáreo, pero sí se correlacionó con el carbono orgánico. En la vegetación se encontró, asimismo, alta concentración de este halógeno.

La presencia de elevados contenidos de fluor soluble en suelos está originada con las capas freáticas cercanas a la superficie. Las inundaciones probablemente hayan contribuido a la difusión geográfica de esta contaminación.

Palabras claves: fluor soluble y total, alcalinidad, salinidad, aguas subterráneas.

FLUORINE IN WATERS, SOILS AND VEGETATION OF WESTERN BUENOS AIRES PROVINCE

ABSTRACT

The contents of fluorine in soils, phreatic waters and vegetation of Carlos Tejedor County were studied. A colorimetric method and other standard analytical methods were utilized.

Total fluorine ranges around low values. Its four "populations" were related to clay contents. Conversely, water soluble fluorine contents were high and associated to soils alkalinity and salinity, and phreatic water depth. The relationship between fluorine and other soil properties were also studied. Total fluoride was not correlated to available phosphorus, lime and organic carbon, while soluble fluoride was not correlated to available phosphorus and lime too, but was correlated to organic carbon. The vegetation had high fluorine concentration too.

The high soluble fluorine contents in soils derives from shallow groundwaters. Floods have probably contributed to the spread of this contamination.

Key words: soluble and total fluorine, alkalinity, salinity, groundwater.

INTRODUCCION

La región pampeana subhúmeda, tipificada en el Municipio de Carlos Tejedor, del noroeste de la Pcia. de Buenos Aires, posee áreas cuyos suelos se encuentran afectados por capas freáticas altas. Esta zona sufrió, a principios y mediados de la década del setenta, un fenómeno de inundaciones con ascenso de las aguas subterráneas. Aunque las aguas retrocedieron, la fuer-

te mineralización de éstas salinizó grandes superficies no afectadas previamente. En la actualidad muchas de estas superficies aún poseen elevados contenidos de sales.

En la zona mencionada, como es común en la región central del país, las aguas subterráneas suelen poseer elevados tenores de fluor. En algunos sectores del Municipio son comunes capas con 4 a 5 mg L⁻¹ de este elemento, habiéndose detectado casos de capas

1) Investigador CONICET.

2) Facultad Agronomía, Universidad Nacional de La Pampa, Santa Rosa, La Pampa.

freáticas que superaban los 6 mg L⁻¹ (C.F.I., 1974).

En un trabajo previo ha sido considerado el enriquecimiento de los suelos con fluor proveniente de las capas freáticas (Lavado and Reinaudi, 1979). Particularmente presentan este fenómeno los suelos afectados por sales, ya que suelen estar sujetos a la acción del ascenso capilar y poseen propiedades químicas que favorecen el mantenimiento del fluor en solución (Chhabra et al., 1980; Lavado and Reinaudi, 1979).

En función de lo mencionado precedentemente, se estudió la presencia de fluor en suelos de la zona mencionada anteriormente, su asociación con las aguas subterráneas y las inundaciones, las relaciones de este halógeno con otros componentes del suelo y su contenido en material vegetal.

MATERIALES Y METODOS

Se tomaron muestras de horizontes de seis perfiles de suelos en las siguientes localidades del Municipio de Carlos Tejedor: Necol (perfil 1); Húsares (perfil 2); C. Tejedor (perfiles 3 y 4); Alejandra (perfil 5) y Encina (perfil 6). En los seis puntos se extrajeron también muestras compuestas de suelo superficial (0-50 cm) y de la vegetación dominante. En solo cuatro de ellos se pudieron tomar muestras de la capa freática.

Taxonómicamente los suelos fueron: Haplacul (perfil 1); Hapludol (perfiles 2, 5 y 6); Natracualfe (perfil 4) y un Entisol, probablemente un Acuente (perfil 3).

En las muestras de suelo, secadas al aire y tamizadas por dos mm, fueron determinados: pH (pasta saturada); conductividad eléctrica en extracto de saturación (CE); carbono orgánico (CO) (Walkley & Black); carbonato de calcio equivalente (CCaE) (gasovolumetría); fósforo asimilable (P asim.) (Bray & Kurtz N° 1); textura (pipeta); fluor soluble (F sol.) en agua (extracto 1: 1) y fluor total (F tot.). En las aguas fueron determinados: pH; CE y fluor. En las muestras de vegetación, secadas en estufa a 70°C, se determinó únicamente fluor.

El F tot. se extrajo por doble destilación de vapor con ácidos sulfúrico a 165°C y perclórico a 135°C (Brewer, 1965). El fluor en material vegetal se extrajo incinerando la muestra, humedecida con hidróxido de sodio, a 500-550°C (Goded y Mur, 1962). Todas las determinaciones de fluor fueron efectuadas por el método colorimétrico del ácido-zirconio (Brewer, 1965).

RESULTADOS

En la Tabla 1 figuran la profundidad de los horizontes y los datos analíticos de los seis perfiles de suelos estudiados. Entre ellos se observa un suelo sódico,

un suelo salino en todo el perfil, tres con salinidad elevada en distintos niveles de profundidad y un suelo no salino no sódico. En general predominan las fracciones gruesas y los contenidos medios a bajos de CO. El P asim., con algunos valores altos, disminuye globalmente hacia la profundidad. Lo inverso ocurre con el CCaE.

En Tabla 2 se presentan los contenidos de fluor en suelos: El soluble tiende a aumentar en profundidad en todos los perfiles, mientras que el total presenta esa misma tendencia en cuatro suelos. En los dos restantes los valores son más altos hacia la superficie.

Los tenores de F sol. son altos, en tanto los datos de F tot. son bajos a muy bajos, de acuerdo a las revisiones bibliográficas de Lavado and Reinaudi (1979) y Omuetti and Jones (1977), respectivamente.

En la Tabla 3 figuran la profundidad y concentración de fluor, con valor medio de 1,80 mg L⁻¹, y otros datos de las capas freáticas. En la misma tabla se presentan los contenidos de fluor en el material vegetal, cuyos valores pueden ser considerados altos en todos los casos (Manrique et al., 1980; Singh et al., 1979).

DISCUSION

En cuanto al F sol., se confirmó su asociación con la alcalinidad y salinidad de los suelos: El coeficiente de correlación entre pH y F sol. fue r: 0,631**. La correlación entre salinidad y F sol., exceptuando de los cálculos al suelo sódico, fue r: 0,628**. En cambio, cuando se consideraron todas las muestras, el coeficiente cayó a r: 0,291. Los fluoruros integran el conjunto de los aniones que se encuentran en la solución del suelo. Su concentración se incrementa simultáneamente con el resto de las especies químicas, pero es en los medios alcalinos donde poseen su máxima solubilidad (Chhabra et al., 1980; Lavado and Reinaudi, 1979) y por ello los coeficientes de correlación hallados.

No hubo correlación entre pH y CE con el F tot., cuyos valores fueron: r: 0,254 y r: 0,049, respectivamente.

Procesando los datos de F tot. según el método de Lepeltier-Farrell (Omuetti and Jones, 1977) se elaboró la Figura 1, en la que se observa la existencia de cuatro "poblaciones" o grupos de similar concentración de F tot., en los horizontes estudiados. Dichas poblaciones poseen valores menores de 21 mg kg⁻¹; entre 21 y 77 mg kg⁻¹; de 77 a 238 mg kg⁻¹ y por encima de 238 mg kg⁻¹. Estos agrupamientos están asociados a la textura de las distintas muestras, ya que la media del contenido de arcilla fue: 9,03; 11,35; 12,03 y 26,20 dag kg⁻¹, respectivamente. En correspondencia con trabajos de otros autores (Omuetti and Jones,

TABLA 1: Profundidad de horizontes y algunos datos analíticos de los perfiles estudiados.

Perfil	Muestra	Horizonte	Prof. (cm)	pH	C.E. (dS m ⁻¹)	CCaE (dag kg ⁻¹)	C.O. (dag kg ⁻¹)	P. Asim. (mg kg ⁻¹)	Arcilla (dag kg ⁻¹)
1	1	A 1	0-20	8,00	15,52	0,04	1,04	14,0	10,5
	2	II B 2	20-36	8,25	16,53	0,16	0,27	8,0	14,8
	3	II B 3	40-62	8,31	14,31	1,77	0,11	3,3	12,0
	4	III C 1	62-80	8,42	20,69	2,70	0,14	4,0	14,0
2	5	A 1	0-16	5,59	0,98	0,10	1,47	34,2	10,4
	6	II A 1	18-40	5,92	1,24	0,06	1,15	24,3	13,2
	7	II C 1	52-65	7,83	1,99	0,07	0,14	10,6	5,6
	8	III B 2 ca	76-115	8,17	10,72	3,40	0,11	4,0	10,1
	9	III B 3	115-155	8,34	10,97	0,13	0,09	3,8	12,8
3	10	Ap	0-15	8,34	3,52	0,10	0,84	45,0	7,5
	11	II B 2	20-45	8,42	1,34	3,40	0,19	13,0	13,6
	12	II B 3	45-60	8,43	1,79	0,76	0,07	2,4	15,1
4	13	A 1	0-13	7,25	0,83	0,05	1,47	4,3	9,0
	14	II A 12	13-25	7,95	1,25	0,04	0,60	2,0	9,6
	15	III B 2	26-62	8,20	5,94	0,06	0,20	1,6	32,6
	16	IV B 3 ca	62-93	8,60	10,36	5,70	0,75	14,0	23,2
	17	IV C 1	93-120	8,55	7,39	0,17	0,05	5,8	12,8
5	18	A 1	0-20	5,73	0,90	0,10	1,98	12,6	14,3
	19	Cl	108-135	6,37	0,32	0,05	0,65	2,7	15,5
	20	C 2 ca	235-350	8,36	0,76	2,80	0,40	3,3	8,8
6	21	A 1	0-10	5,59	0,45	0,05	1,40	6,2	10,8
	22	II A 1	11-23	5,46	5,11	0,05	0,89	5,8	12,1
	23	II C 1	41-70	7,03	6,98	0,04	0,40	2,7	8,7
	24	III C 1	70-160	8,55	14,60	0,09	0,18	4,9	12,1
	25	III C 2 ca	160-220	8,42	10,13	2,60	0,12	3,6	4,4

TABLA 2: Fluor soluble y total en suelos estudiados.

Perfil	Muestra	Fluor soluble (mg kg ⁻¹)	Fluor total (mg kg ⁻¹)
1	1	3,19	62
	2	3,13	45
	3	6,65	35
	4	9,63	32
2	5	0,62	31
	6	1,50	39
	7	1,20	26
	8	2,61	77
	9	3,19	108
3	10	5,25	21
	11	7,40	76
	12	9,75	68
4	13	3,44	98
	14	4,00	53
	15	5,80	375
	16	6,60	270
	17	5,35	240
5	18	0,63	142
	19	4,10	46
	20	3,05	18
6	21	0,52	19
	22	0,60	32
	23	0,50	44
	24	1,68	50
	25	2,00	64

1977 y 1980; Street *et al.*, 1981) se halló correlación entre contenido de arcilla y F tot. ($r: 0,789^{**}$), aunque fue casi inexistente la relación con el F sol. ($r: 0,412$).

Los valores promedios de F sol. de los perfiles fueron 7,47 mg kg⁻¹ en el suelo sódico; 5,65 mg kg⁻¹ en el suelo salino; 2,64 mg kg⁻¹ en los suelos salinos en profundidad y 0,66 mg kg⁻¹ en el suelo no salino no sódico. La relación porcentual del F sol. al F tot. fue: 13,63; 12,99; 2,59 y 0,96% respectivamente. De acuerdo con la bibliografía (Polomski *et al.*, 1982) estos dos últimos porcentajes son típicos de suelos no contaminados (proporción de F sol. menor del 5% del F tot.). En cambio los dos primeros porcentajes asemejan a esos dos grupos de suelos a aquellos enriquecidos con contaminaciones industriales, que no existen en este caso.

Se ha establecido que en varios suelos existiría alguna relación entre fósforo y fluor, particularmente cuando éste último proviene de ciertos materiales originales (Robinson and Edginton, 1946), no obstante la relación es compleja y depende de varios factores (Singh *et al.*, 1979). En concordancia con Omuetti and Jones (1977), tampoco en este caso se encontró correlación: Los coeficientes r para los horizontes A, B y C entre P asim. y F sol. fueron 0,237; 0,104 y 0,002 y entre P asim. y F tot. fueron 0,499; -0,294 y -0,344, respectivamente.

En ciertos rangos de pH del suelo, el carbonato de calcio aparentemente regula la solubilidad del fluor a través de la formación de F₂Ca (Street *et al.*, 1981). En el presente estudio no fue hallada correlación entre ambos: Los coeficientes r para los horizontes A, B y C entre CCaE y F sol. fueron 0,161; 0,155 y 0,517, y entre CCaE y F tot. fueron 0,343; 0,020 y -0,105, respectivamente. La falta de correlación existente probablemente deba ser atribuida a los bajos va-

TABLA 3: Algunas características y contenido de fluor en capa freática y vegetación.

Perfil	Profundidad capa (cm)	pH	C.E. (dS m ⁻¹)	Fluor (mg L ⁻¹)	Vegetación	Fluor (mg kg ⁻¹)
1	80	8,12	18,27	2,17	Salicornia sp.	72
					Chaetotropis sp.	61
2	155	7,79	11,16	2,25	Gramíneas varias	59
3	60	8,15	10,62	1,26	Kochia sp.	80
4	200	8,00	12,12	1,54	Distichlis sp.	40
5	350	-	-	-	Trigo (T. aestivum)	48
6	360	-	-	-	Melilotus sp.	37

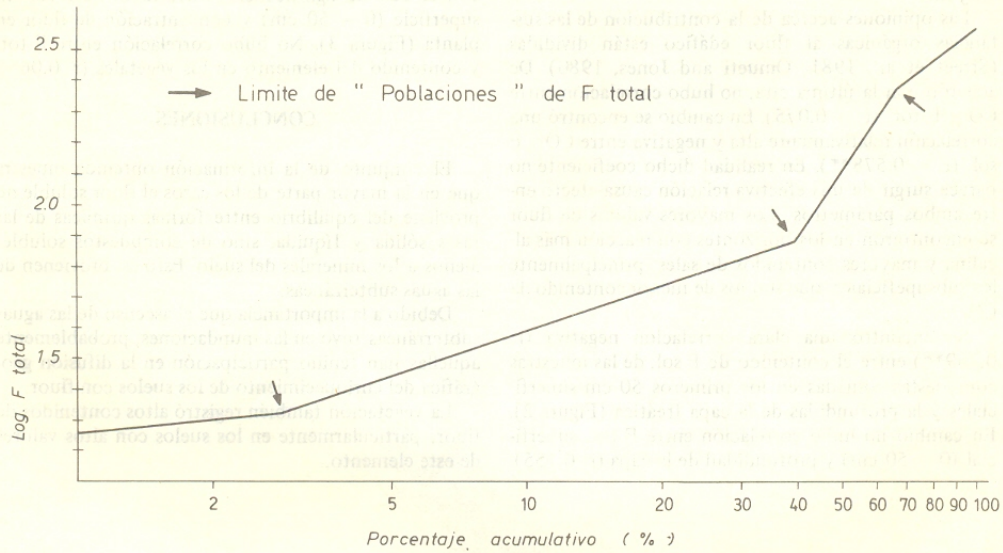


Figura 1: Diagrama de Lepeltier-Farell, indicando los límites en las "poblaciones" de fluor total.

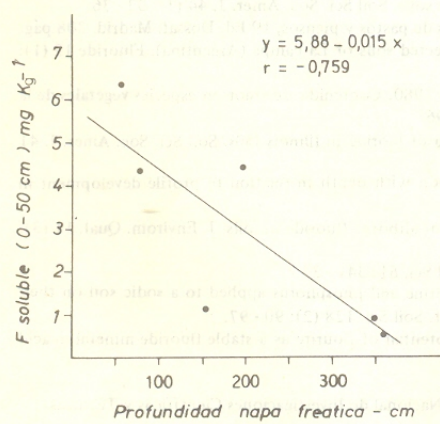


Figura 2: Relación entre profundidad de la napa freática y fluor soluble en superficie (0-50 cm).

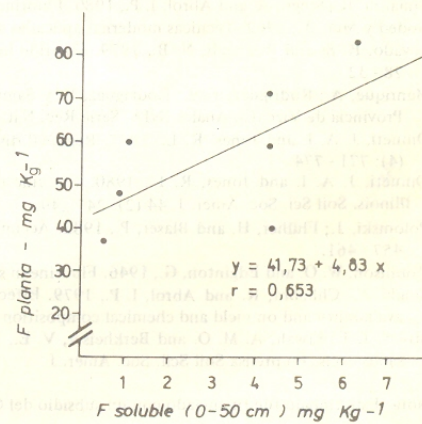


Figura 3: Relación entre fluor soluble en superficie (0-50 cm) y contenido de fluor en material vegetal.

lores de CCaE de los suelos. Es destacable que el coeficiente más elevado (entre CCaE y F sol.) fue encontrado en los horizontes C, los de mayor contenido de CO_3Ca .

Las opiniones acerca de la contribución de las sustancias orgánicas al fluor edáfico están divididas (Street et al., 1981; Omuetti and Jones, 1980). De acuerdo con la última cita, no hubo correlación entre CO y F tot. ($r = -0,075$). En cambio se encontró una correlación relativamente alta y negativa entre CO y F sol. ($r = -0,578^{**}$). En realidad dicho coeficiente no parece surgir de una efectiva relación causa-efecto entre ambos parámetros. Los mayores valores de fluor se encontraron en los horizontes con reacción más alcalina y mayores contenidos de sales, principalmente los subsuperficiales, que son los de menor contenido de CO.

Se encontró una clara correlación negativa ($r = 0,759^{**}$) entre el contenido de F sol. de las muestras compuestas tomadas en los primeros 50 cm superficiales y la profundidades de la capa freática (Figura 2). En cambio no hubo correlación entre F tot. superficial (0 - 50 cm) y profundidad de la capa ($r = 0,155$).

De acuerdo con los trabajos que asocian contenidos de fluor en planta con F sol. (por ej. Singh et al., 1979) se encontró una buena correlación ($r = 0,653$, con el 10% de significancia) entre tenor de F sol. en superficie (0 - 50 cm) y concentración de fluor en planta (Figura 3). No hubo correlación entre F tot. y contenido del elemento en los vegetales ($r = 0,065$).

CONCLUSIONES

El conjunto de la información obtenida muestra que en la mayor parte de los casos el fluor soluble no proviene del equilibrio entre formas químicas de las fases sólida y líquida, sino de compuestos solubles ajenos a los minerales del suelo. Esto es, provienen de las aguas subterráneas.

Debido a la importancia que el ascenso de las aguas subterráneas tuvo en las inundaciones, probablemente aquellas han tenido participación en la difusión geográfica del enriquecimiento de los suelos con fluor.

La vegetación también registró altos contenidos de fluor, particularmente en los suelos con altos valores de este elemento.

BIBLIOGRAFIA

- Brewer, R. F., 1965. Fluorine. En: Black C. A. (Editor). Methods of Soil Analysis, part 2. ASA. Wisconsin USA.
- C.F.I., 1974. Estudios hidrológicos en la Provincia de Buenos Aires. La Plata. 216 pág., 2 mapas.
- Chhabra, R.; Singh, A. and Abrol, I. P., 1980. Fluorine in sodic soils. Soil Sci. Soc. Amer. J. 44 (1): 33 - 36.
- Goded y Mur, A., 1962. Técnicas modernas aplicadas al análisis de pastos y piensos, 1^o Ed. Dossat. Madrid. 308 pág.
- Lavado, R. S. and Reinaudi, N. B., 1979. Fluoride in salt affected soils of La Pampa (Argentina). Fluoride 12 (1): 28 - 32.
- Manrique, A.; Rodríguez, F. J.; Rodríguez, E. y Samy A. M., 1980. Contenido de fluor en especies vegetales de la Provincia de Vizcaya. Anales INIA. Serie Rec. Nat. 4: 85 - 96.
- Omuetti, J. A. I. and Jones, R. L., 1977. Regional distribution of fluoride in Illinois soils. Soil Sci. Soc. Amer. J. 41 (4): 771 - 774.
- Omuetti, J. A. I. and Jones, R. L., 1980. Fluorine distribution with depth in relation to profile development in Illinois. Soil Sci. Soc. Amer. J. 44 (2): 247-249.
- Polomski, J.; Flühler, H. and Blaser, P., 1982. Accumulation of airborne fluoride in soils, J. Environ. Qual. 11 (3): 457 - 461.
- Robinson, W. O. and Edginton, G., 1946. Fluorine in soils. Soil Sci. 61: 341 - 353.
- Singh, A.; Chhabra, R. and Abrol, I. P., 1979. Effect of fluorine and phosphorus applied to a sodic soil on their availability and on yield and chemical composition of wheat. Soil Sci. 128 (2): 90 - 97.
- Street, J. J.; Elwali, A. M. O. and Berkheiser, V. E., 1981. Potential of fluorite as a stable fluoride mineral in acid sandy soils. En prensa Soil Sci. Soc. Amer. J.

Nota: Este trabajo fue financiado con un subsidio del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.