

NIVELES DE ALUMINIO EN EL AGUA DE CONSUMO DE LA CIUDAD DE MARACAIBO Y COSTA ORIENTAL DEL LAGO, ESTADO ZULIA (VENEZUELA)

Janeth A. Navarro¹, Omar E. Parra¹, Rafael García R.^{2,4},
Bernardo Rodríguez-Iturbe^{2,4}, Dídimo Rubio^{3,4}, Romer A. Romero¹

¹ Laboratorio de Instrumentación Analítica, Facultad Experimental de Ciencias, Universidad del Zulia. ² Servicio de Nefrología, Hospital Universitario de Maracaibo. ³ Servicio de Nefrología, Hospital General del Sur, Maracaibo. ⁴ Facultad de Medicina, Universidad del Zulia.

Palabras Claves: agua, aluminio, horno de grafito

RESUMEN

En el presente trabajo se describe un estudio realizado durante dos años, en el cual se evaluaron las concentraciones de aluminio presentes en el agua suministrada por el Instituto Nacional de Obras Sanitarias (INOS) a Maracaibo, Cabimas y Ciudad Ojeda (Estado Zulia, Venezuela).

La ciudad de Maracaibo fué dividida en tres sectores, efectuándose 16 muestreos. En Cabimas se efectuaron cinco muestreos, en dos áreas diferentes, mientras que en Ciudad Ojeda solamente se efectuó un muestreo, en seis sectores. Las determinaciones de aluminio se realizaron mediante la técnica de la espectrometría de absorción atómica con horno de grafito.

Los resultados señalaron la ausencia de diferencias significativas en las concentraciones de aluminio con respecto al sitio y a la época de muestreo (lluvia y sequía), encontrándose niveles del metal superiores a los óptimos recomendables para agua de consumo humano.

INTRODUCCION

El aluminio es el tercer elemento más abundante en la naturaleza y representa aproximadamente el 8% de la corteza terrestre (6). En las aguas naturales, el aluminio está presente en cantidades variables (ca. hasta aproximadamente 2000 µg/L), dependiendo de la geoquímica local (13). Pero en el agua potable, la concentración del aluminio puede ser bastante alta, debido al uso del sulfato de aluminio (alumbre) como

agente floculante de impurezas coloidales, durante el proceso de tratamiento. En estas condiciones, las concentraciones de aluminio pueden alcanzar valores cercanos o superiores a una parte por millón (1 mg Al/L). En los países miembros del Mercado Común Europeo se ha establecido que el agua destinada al consumo humano no debe contener más de 50 μg Al/L (15).

En la última década se le ha dado un interés especial a la toxicidad del aluminio, especialmente en los enfermos con insuficiencia renal crónica y sometidos a tratamientos periódicos de hemodiálisis (1, 2, 9, 14). Estas personas pueden potencialmente incorporar aluminio, el cual proviene de la solución de diálisis, cuando la misma es preparada con agua contentiva de altas concentraciones del metal (5, 11, 12). En tal sentido, la Association for the Advancement of Medical Instrumentation (AAMI) (4) y la American Society for Artificial Internal Organs (ASAIO) (7) han establecido en 10 μg Al/L la concentración máxima de este metal, permisible en el agua empleada en los procesos de hemodiálisis. En 1982, este valor fue adoptado por el American National Standard Institute (ANSI) en su "Standard for Hemodialysis Systems" (7).

El aluminio incorporado por el enfermo renal durante la diálisis se acumula en diferentes tejidos, originando enfermedades con sintomatología suficientemente identificadas: encefalopatía o demencia dialítica (a nivel cerebral) (2, 18), osteodistrofia osteomalácica dialítica (a nivel óseo) (8, 16) y la anemia microcítica (17).

Estudios iniciales han revelado la presencia de concentraciones de aluminio exageradamente elevadas, en el agua suministrada por el Instituto Nacional de Obras Sanitarias (INOS) a varias ciudades del Estado Zulia (11). Adicionalmente, nuestras investigaciones han señalado la relación existente entre las patologías asociadas a la intoxicación por aluminio y las concentraciones del metal encontradas en el agua del INOS Navarro y col. (Trace Elem Med: en prensa) (13). Cabe mencionar que las Unidades de Diálisis de la ciudad de Maracaibo (Zulia, Venezuela) emplean agua del tubo no tratada para preparar las soluciones de diálisis.

En este trabajo se describe un estudio realizado durante dos años, en el cual se evaluaron las concentraciones de aluminio soluble en el agua de consumo de Maracaibo, Cabimas y Ciudad Ojeda (Estado Zulia, Venezuela), empleando como técnica analítica la espectrometría de absorción atómica con horno de grafito.

MÉTODOS

Todos los reactivos usados fueron de grado analítico. Las muestras de agua se recolectaron en recipientes de polietileno lineal de 125 mL de capacidad (Nalgene);

estos se sometían previamente a un procedimiento de limpieza, por 24 horas, empleando un detergente alcalino no fosfatado (Sodosil, RDH) y agua bidestilada y desionizada (grado 1 ASTM). La solución concentrada de aluminio (ca. 1.000 g/L) se preparó a partir del $\text{Al}(\text{NH}_4)(\text{SO}_4)_2 \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$ (Hopkins & Williams). Los patrones de aluminio se elaboraron mediante dilución serial de la solución concentrada; las concentraciones intermedias (ca. 50.0, 10.0, 1.0 mg Al/L) se evaluaron con una solución patrón de referencia de aluminio (Fisher Scientific Co), por espectrometría de absorción atómica con llama (3). Se empleó ácido nítrico (Fisher Scientific Co) con un contenido metálico inferior al límite de detección de la técnica del horno de grafito (10).

Se usó un espectrofotómetro de absorción atómica Perkin-Elmer (Modelo 2380), con un horno de grafito Perkin-Elmer (Modelo HGA-500). La inyección de las muestras (20 μL) se realizó con un muestreador automático Perkin-Elmer (Modelo AS-40). Los datos obtenidos (absorbancias integradas <A.s>, medias, desviaciones standards y coeficientes de variación) se registraron en un impresor secuencial (Perkin-Elmer Modelo PRS-10). Las condiciones operacionales usadas en el horno de grafito fueron las descritas previamente (10).

Para el análisis estadístico de los resultados se usaron los métodos del t-estadístico y de correlación lineal (Nwa Statpak V.2.1., Northwest Analytical, Inc., 1532 S.W. Morrison St., Portland, OR 97205, USA).

La ciudad de Maracaibo está localizada en el extremo nor-oeste de Venezuela (ribera occidental del Lago de Maracaibo) (Figura 1A). Para este estudio, la ciudad fué dividida en tres sectores: norte, centro y sur (Figura 1B). Se efectuaron 16 muestreos, comprendidos entre el 12/12/85 y el 08/12/87, recolectándose un promedio de 15 especímenes/muestreo. En la ciudad de Cabimas (Costa Oriental del Lago de Maracaibo) (Figura 1C) se recolectaron muestras de agua en cinco ocasiones (durante los dos años de estudio), en dos sectores diferentes. En Ciudad Ojeda (Costa Oriental del Lago) (Figura 1C) se realizó un muestreo general, en seis sectores diferentes de la ciudad.

En todos los casos, las muestras fueron recolectadas a nivel domiciliario y en algunas unidades de diálisis, directamente del tubo del agua (sin pasar por algún artefacto de purificación y sin adicionarles preservativo alguno) y en el horario comprendido entre 8:00 p.m. y 11:00 p.m. El siguiente procedimiento fué seguido para la recolección de las muestras de agua:

- i. se drenó la tubería del agua por aproximadamente 5 min,
- ii. seguidamente se enjuagó el recipiente de recolección con varias porciones de esta agua,

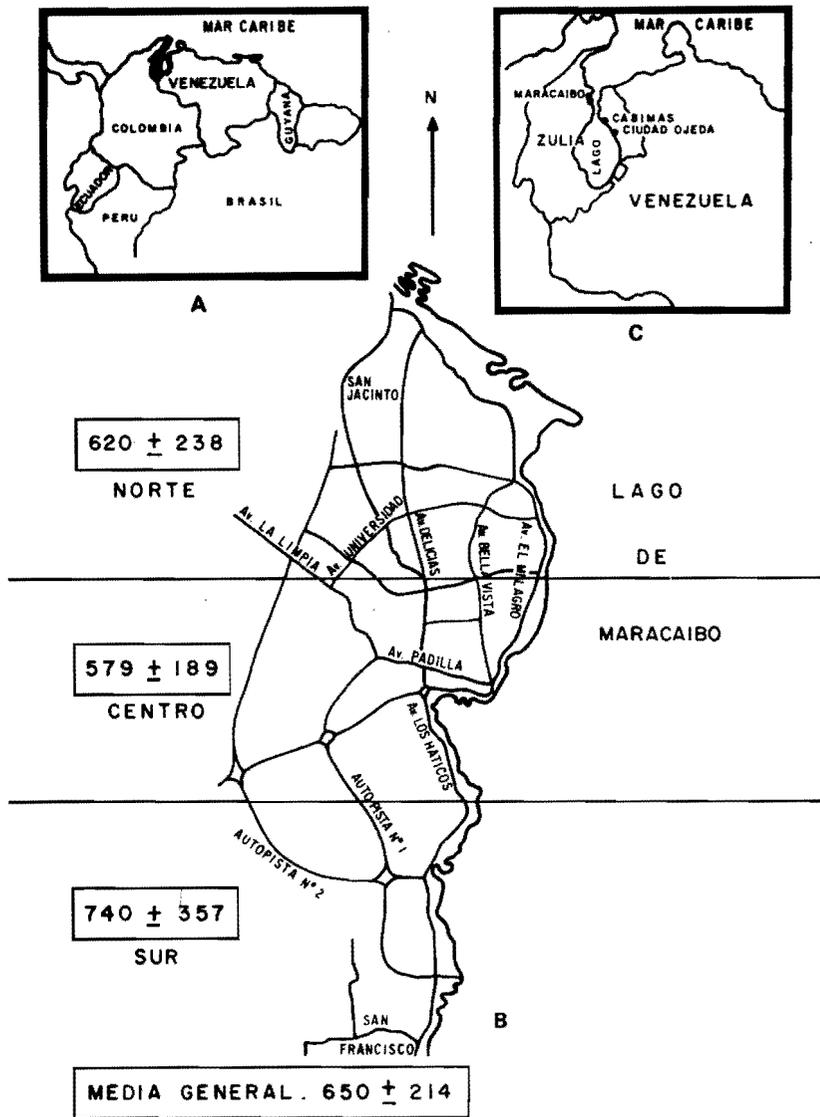


Fig. 1.— Sectorización de Maracaibo. Ubicación geográfica de las ciudades de Maracaibo, Cabimas y Ciudad Ojeda.

Los valores indicados de concentración ($\bar{X} \pm DS$, $\mu\text{g Al/L}$) corresponden a resultados totales (por sectores y a la media general de Maracaibo), para un período de dos años <Diciembre 1985 - Diciembre 1987>.

iii. finalmente se llenó el recipiente hasta 3/4 partes de su capacidad

Las muestras fueron mantenidas en refrigeración, a 4°C, hasta el análisis respectivo, que se efectuaba durante las 24 horas siguientes a la recolección. Se ejercitaron procedimientos rigurosos de recolección y manipulación de las muestras, para evitar contaminación, como ya se reportó (10). Las muestras fueron diluidas con ácido nítrico 0.01 M (normalmente en una proporción agua: ácido de 1:4, o dependiendo de la concentración de aluminio), siguiendo una metodología descrita anteriormente (10).

RESULTADOS

En la Tabla I se indican los resultados obtenidos en esta investigación, señalándose las fechas en que se efectuaron los muestreos y las concentraciones promedios de aluminio encontradas en cada uno de ellos, por sectores y para toda la ciudad de Maracaibo.

TABLA I

CONCENTRACION PROMEDIO DE ALUMINIO EN EL AGUA SUMINISTRADA
 POR EL INSTITUTO NACIONAL DE OBRAS SANITARIAS (INOS),
 A LA CIUDAD DE MARACAIBO ($\bar{X} \pm DS$), $\mu\text{g/L}$

FECHA DE RECOLECCION	SECTORES			
	NORTE	CENTRO	SUR	GENERAL
12-12-85	792 ± 184	665 ± 111	745 ± 24	759 ± 166
17-12-85	633 ± 198	650 ± 4	1155 ± 12	741 ± 270
09-01-86	849 ± 191	882 ± 172	1067 ± 261	907 ± 207
21-01-86	741 ± 265	579 ± 196	614 ± 144	757 ± 286
27-01-86	495 ± 253	564 ± 175	1120 ± 862	610 ± 413
06-03-86	650 ± 233	458 ± 245	748 ± 192	598 ± 247
07-08-86	1144 ± 197	530 ± 13	---	1042 ± 306
23-10-86	815 ± 269	969 ± 278	---	859 ± 271
05-12-86	380 ± 139	463 ± 167	368 ± 163	415 ± 148
10-02-87	398 ± 185	344 ± 154	424 ± 263	385 ± 187
22-04-87	388 ± 153	357 ± 108	1435 ± 7	494 ± 373
20-05-87	310 ± 42	352 ± 294	256 ± 6	316 ± 154
14-07-87	296 ± 19	360 ± 182	400 ± 4	330 ± 86
10-09-87	762 ± 76	730 ± 92	638 ± 109	710 ± 95
15-10-87	869 ± 429	648 ± 12	---	786 ± 324
08-12-87	696 ± 54	708 ± 23	656 ± 101	689 ± 63
$\bar{X} \pm DS =$	620 ± 238	579 ± 189	740 ± 357	650 ± 214

caibo (general). Así mismo, se muestran las concentraciones promedios para los dos años de estudio. No existieron diferencias significativas en las concentraciones de aluminio de las diferentes áreas de la ciudad (nivel de significancia 99%).

La media general de las concentraciones de aluminio obtenida para el agua de la ciudad de Cabimas fué $2850 \pm 370 \mu\text{g/L}$ (rango: 1040 - 4440 $\mu\text{g Al/L}$). Las épocas de muestreo en esta ciudad fueron las siguientes: 12/12/85, 21/01/86, 27/01/86, 05/12/86 y 10/09/87.

La concentración de aluminio obtenida para el agua de Ciudad Ojeda fué de $2499 \pm 2044 \mu\text{g/L}$ (rango: 1020 - 6120 $\mu\text{g Al/L}$).

En la Figura 2 se muestra la distribución del aluminio en el agua suministrada por el INOS a la ciudad de Maracaibo para tres lapsos, comprendidos entre: Diciembre 1985 - Octubre 1986 ($n = 8$ muestreos, 111 especímenes); Diciembre 1986 - Julio 1987 ($n = 5$ muestreos, 95 especímenes); Septiembre 1987 - Diciembre 1987 ($n = 3$ muestreos, 35 especímenes).

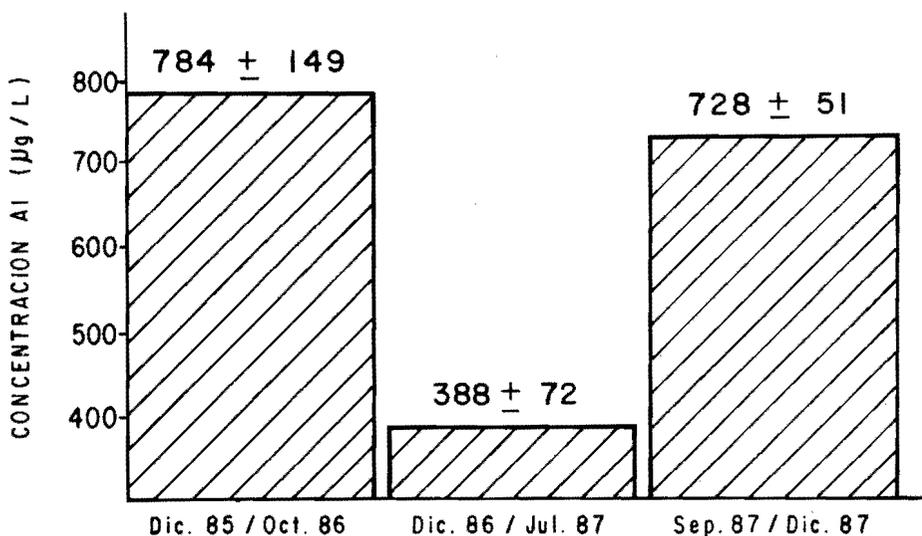


Fig. 2.— Variación de las concentraciones generales de aluminio en el agua de la ciudad de Maracaibo durante tres épocas que abarcaron los dos años de estudio.

Las concentraciones de aluminio fueron también distribuidas según las épocas de lluvia (Marzo-Abril-Mayo y Septiembre-Octubre-Noviembre) y de sequía (Diciembre-Enero-Febrero y Junio-Julio-Agosto), hallándose los siguientes resultados para la ciudad de Maracaibo: $627 \pm 201 \mu\text{g Al/L}$ (época de lluvia) y $664 \pm 231 \mu\text{g Al/L}$ (época de sequía). No hubo diferencia estadísticamente significativa entre estos valores (nivel de significancia 99%, t-estadístico = 0.319).

DISCUSION

Los datos que aparecen en la Tabla I demuestran la uniformidad que existió con respecto a las concentraciones de aluminio en el agua de Maracaibo, independientemente del sitio de recolección de las muestras. Este resultado es razonable debido al hecho de que todo el agua servida por el INOS a la ciudad proviene de una misma planta de tratamiento (Alonso de Ojeda) y de un mismo embalse (Tulé).

La Figura 2 muestra que las concentraciones de aluminio en el agua para el primer (Diciembre 1985 - Octubre 1986) y el tercer lapso (Septiembre 1987 - Diciembre 1987) no fueron estadísticamente diferentes. Sin embargo, si se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.01$) entre las anteriores y las concentraciones de aluminio halladas para el período Diciembre 1986 a Julio 1987. Coincidentalmente, este último lapso mencionado se correspondió con campañas de prensa que enfatizaron acerca de los contenidos de aluminio en el agua de Maracaibo; esto revela que el INOS tiene la capacidad de disminuir las cantidades de sulfato de aluminio que le adiciona al agua durante el tratamiento.

El hecho de que las concentraciones de aluminio no muestren diferencias durante las diferentes épocas del año (lluvia o sequía), sugiere que los sedimentos y sólidos suspendidos arrastrados por los ríos durante las épocas de lluvia no ejercen una influencia determinante sobre los niveles que de este metal están presentes en el agua servida por el INOS a la Ciudad de Maracaibo. Por lo tanto, este resultado sirve de soporte a la idea de que el contenido de aluminio del agua suministrada por el INOS proviene principalmente del sulfato de aluminio agregado, no teniendo relación alguna con la geoquímica del embalse de Tulé.

Las concentraciones de aluminio halladas para Cabimas y Ciudad Ojeda fueron exageradamente altas. Cabe señalar que el agua suministrada, a estas dos ciudades, proviene de otra planta de tratamiento del INOS y de otro embalse (Burro Negro). El análisis visual de estas muestras reveló la presencia de mucha turbidez, lo cual apuntó hacia la existencia de posibles fallas en el tratamiento de floculación de estas aguas. Por consiguiente, el aluminio detectado en estas muestras debió provenir mayoritariamente, de la geoquímica del embalse de Burro Negro, a diferencia de lo registrado para Maracaibo.

Puede apreciarse que durante los dos años de este estudio las concentraciones de aluminio fueron siempre superiores a $300 \mu\text{g/L}$. Esto contraviene el decreto N° 2323 del Ministerio de Sanidad y Asistencia Social de Venezuela (28 de Octubre de 1978), el cual regula en $300 \mu\text{g Al/L}$ la concentración máxima permisible para este metal en el agua de consumo humano.

Se concluye que el Instituto Nacional de Obras Sanitarias adicionó cantidades excesivas de aluminio, al agua que suministró a la Ciudad de Maracaibo durante el pe-

ríodo de estudio, y demostró tener capacidad de control sobre estas concentraciones. Estas excedieron a las óptimas recomendables para agua de consumo humano. Los resultados aquí presentados revelan la necesidad de realizar tratamientos previos al agua que se utiliza en las Unidades de Diálisis de la ciudad; de esta manera se disminuiría el contenido de aluminio y se evitarían los efectos nocivos que este metal ocasiona a los pacientes en hemodiálisis.

Agradecimiento,

Esta investigación fué financiada por el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas, CONICIT (Proyecto SI-1453) y la Asociación de Amigos del Riñón.

ABSTRACT

Aluminum levels in the drinking water of Maracaibo City and eastern coast of the Lake (State of Zulia, Venezuela). *García R., (Unidad de Diálisis. Servicio de Nefrología. Hospital Universitario de Maracaibo. Apartado Postal 1430, Maracaibo. Apartado Postal 1430, Maracaibo, Zulia, Venezuela), Navarro J., Parra O., Rodríguez Iturbe B., Rubio D., Romero R.A. Invest Clín 29(1): 37-45, 1988.* – This paper describes a two-year study for the evaluation of the aluminum concentrations in drinking water supplied by the National Institute of Sanitation Works to the cities of Maracaibo, Cabimas, and Ciudad Ojeda (State of Zulia, Venezuela). Maracaibo city was divided into three areas and sixteen collections of water samples were carried out, while five in Cabimas (in two different areas) and only one in six sectors of Ciudad Ojeda. Aluminum determinations were worked out by graphite furnace atomic absorption spectrometry. Results indicated the absence of significant differences in the aluminum concentrations with respect to sampling site and season (wet and dry), and showed up metal levels above those recommended for human consumption.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- 1– ALFREY A.C.: Aluminum metabolism. *Kidney Int* 29: S-8 - S-11, 1986.
- 2– ALFREY A.C., LeGENDRE G.R., KAEHNY W.D.: The dialysis encephalopathy syndrome: possible aluminum intoxication. *N Engl J Med* 294: 184-188, 1976.
- 3– Analytical methods for atomic absorption spectrophotometry. Perkin-Elmer, Norwalk, Connecticut, USA. Rev. January 1982.
- 4– Association for the Advancement of Medical Instrumentation: American National Standard for Hemodialysis Systems (RD5). Arlington, Virginia 22209, USA; p. 3. 1981.
- 5– DAY J.P., O'HARA M., HODGE K.C., ACKRILL P., RALSTON A.J.: Critical concentrations of aluminium in water used for dialysis. *Lancet* 2: 802, 1981.

- 6- EPSTEIM S.G.: Aluminum in nature, in the body and its relationship to human health. *Trace Elem Med* 2: 14-18, 1985.
- 7- GANZI G.C., TICE J.E.: Water treatment for home dialysis. Part I. *Dial Transplant* 13: 222-225, 1984.
- 8- IHLE B.U., BUCHANAN M.R., STEVENS B., MARSHAL A., PLOMLEY R., D'APICE A., KINCAID-SMITH P.: Aluminum associated bone disease: Clinico-pathological correlation. *Am J Kidney Dis* 2: 255-263, 1982.
- 9- NAVARRO J.A., GARCIA R., ROMERO R.A.: Evaluation of the whole blood aluminum contents of hemodialysis patients at several Maracaibo hospitals. Abstract p. 117. 13th. Congress Fed Anal Chem Spectrosc Soc St. Louis, Mo., USA, 1986.
- 10- NAVARRO J.A., PARRA O.E., ROMERO R.A.: Aluminum determination in clinical samples by FAAS. *Proc Nat Conf St Lab* 25: 6-1 to 6-8, 1986.
- 11- NAVARRO J.A., GARCIA R., RUBIO D., RODRIGUEZ-ITURBE B., VIRLA J., MENDEZ G., ROMERO R.A.: Correlación de los niveles de aluminio en agua, sangre completa y dializado en pacientes renales. *Invest Clín* 28(3): 153-163, 1987.
- 12- NAVARRO J.A., ROMERO R.A., GARCIA R., RUBIO D.: Transferencia de aluminio en pacientes en hemodiálisis crónica. III Jornadas Científicas de la Facultad de Medicina, Universidad del Zulia (Sept. 1987). *Rev Fac Med* 19: 70, 1987.
- 13- NAVARRO J.A., ROMERO R.A., RUBIO D., GARCIA R., RODRIGUEZ I.B., MENDEZ G.: Toxicidad del aluminio. 37a. Convención Anual de ASOVAC, resumen p. 193. Maracaibo, Venezuela, 1987.
- 14- NAVARRO J.A., RUBIO D., GARCIA R., ROMERO R.A.: Remoción de aluminio por quelación con desferrioxamina. III Jornadas Científicas de la Facultad de Medicina, Universidad del Zulia (Sept. 1987). *Rev Fac Med* 19: 70, 1987.
- 15- *New Scientist*, (United Kingdom), p 514, 27 August 1981.
- 16- SHERRARD D.J.: Aluminum and renal osteodystrophy. *Semin Nephrol* 6: 5-11, 1986.
- 17- SHORT A. I.K., WINNEY R.J., ROBSON J.S.: Reversible microcytic hypochromic anemia in dialysis patients due to aluminum intoxication. *Proc Eur Dial Transplant Assoc* 17: 226-233, 1980.
- 18- WILLS M.R., SAVORY J.: Aluminum poisoning: dialysis encephalopathy, osteomalacia, and anaemia. *Lancet* i: 29-34, 1983.