

2 5 7  
6 8 E S

REPUBLICA



ARGENTINA

JSN 493

SECRETARIA DE ESTADO DE SALUD PUBLICA

---

**ESTUDIO TECNICO-ECONOMICO PARA LA PUESTA  
EN MARCHA DE PLANTAS DE DESFLUORIZACION  
EN LA REPUBLICA ARGENTINA**

---

1968

257-68ES-493

257  
68ES

WN 493

**ESTUDIO  
TECNICO-ECONOMICO  
PARA LA PUESTA EN  
MARCHA DE PLANTAS  
DE DESFLUORIZACION  
EN LA REPUBLICA  
ARGENTINA**

~~ND 3818~~

Por los Ingenieros  
**AMADEO B. BOTTERI y  
ALDO R. DAMERI**  
Servicio Nacional de Agua Potable

**El problema del fluor en nuestro país. \***

No cabe duda en la actualidad, de la relación existente entre ciertas enfermedades —esmalte moteado o fluorosis dental, osteopetrosis— y la presencia de determinadas cantidades de fluor en el agua de bebida.

El problema en la República Argentina es de real trascendencia, ya que extensas zonas de nuestro territorio (Noroeste de la Provincia de Buenos Aires, Centro y Norte de La Pampa, Sud de Córdoba, La Rioja, San Luis, Sud de Río Negro y otras) tienen como única fuente de abastecimiento de agua para bebida, napas subterráneas con diversos contenidos de fluor, por encima de los límites aceptados. El mapa de la República Argentina del Gráfico N° 1 muestra puntos del territorio en que el contenido de Fluor en las aguas supera 1,5 mg/litro.

**Límites admisibles para el contenido de Fluor en el agua de bebida.**

En el presente trabajo no entraremos a considerar las razones que determinan los diferentes límites admitidos

para el fluor en el agua de bebida, ni la relación entre los diversos contenidos y las enfermedades que se producen en la población, por ser suficientemente conocidos a través de una amplia bibliografía. (\*)

Diremos --en cambio-- que las normas internacionales fijan ese límite en 1,5 mg/litro, valor que ha sido adoptado en nuestro país por Obras Sanitarias de la Nación, para las áreas urbanas del territorio.

Para poblaciones rurales, entre 100 y 3.000 habitantes, el Servicio Nacional de Agua Potable y Saneamiento Rural,

(\*) - Normas Internacionales para el agua potable, OMS.

- El Fluor y los Abastos de Agua, Carlegaro, De Alvarado, Ricaldoni.

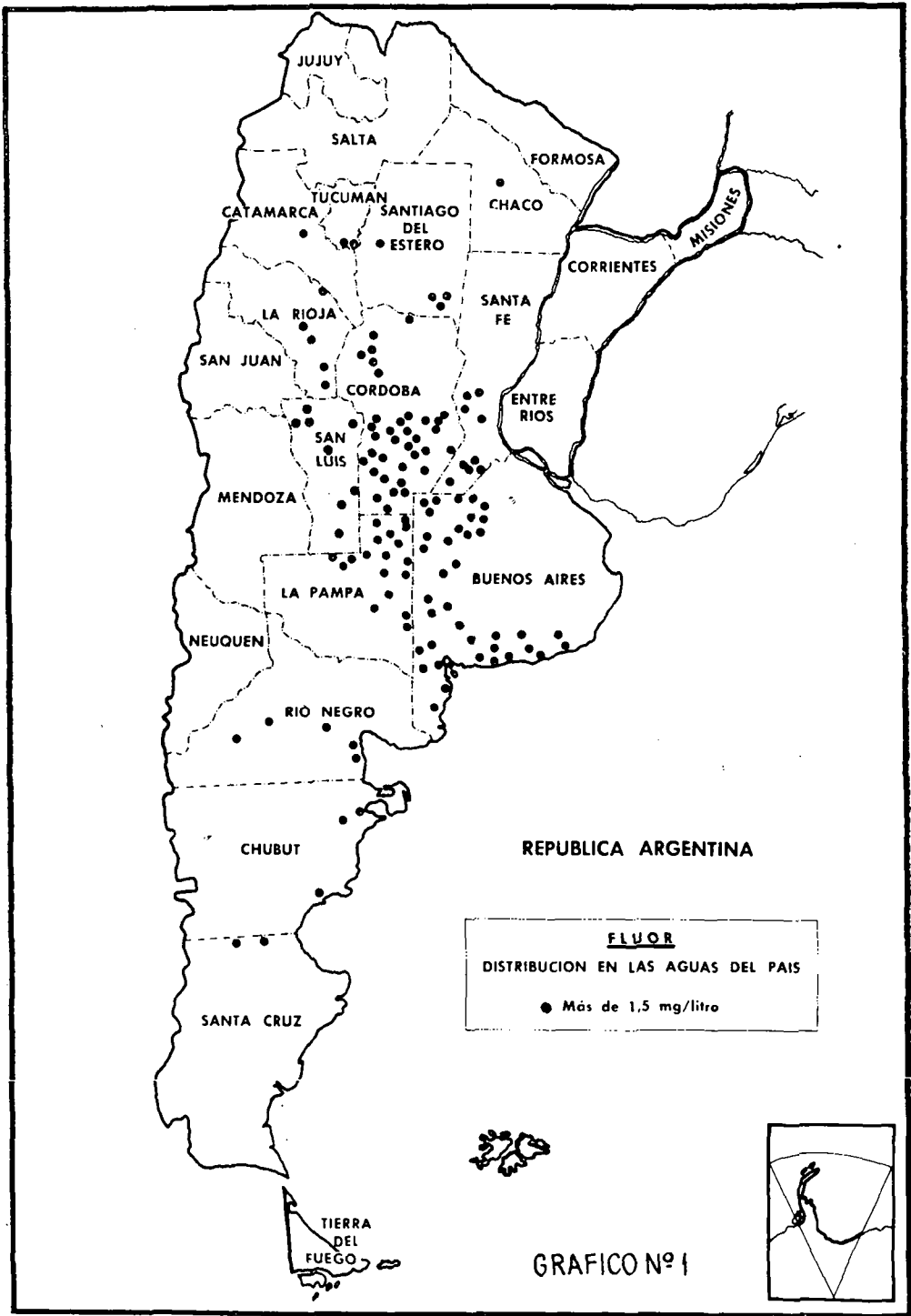
- Comité de Expertos en Fluoración del Agua, Informe N° 146, OMS.

- Defluoration of Municipal Water Supplies, J.A.W.W.A. Maier. 879 - (1953)

- Manual of Water Fluoridation practice, Franz J. Maier. Mc Graw Hill

- El problema de la eliminación del fluor en las aguas de bebida.

Dres. Rogelio A. Trelles y José M. Bach.



dependiente de la Secretaría de Salud Pública del Ministerio de Bienestar Social, ha adoptado la cifra de 2,2 mg/litro. Justifican ese valor circunstancias especiales del medio rural, que han sido cuidadosamente consideradas al establecer las normas de diseño de abastecimientos por el Servicio Nacional de Agua Potable, y en particular la incidencia predominante del factor económico en los sistemas rurales. Por lo demás, se tuvo en cuenta que en la mayor parte de las regiones citadas, la población consume el agua con altos contenidos de fluor, sin tratamiento previo.

### La solución del problema.

La Provincia de La Pampa es con seguridad aquella donde más serios y evidentes son los resultados de la ingestión de agua con altos contenidos de fluor. Poblaciones como Eduardo Castex, Aráoz, San Martín, Lonquimay, Trenel, Luiggi, Caleufú, Colonia Barrón, utilizan como fuente agua subterránea con contenidos de fluor variable entre 3 y 9 partes por millón.

El Servicio Provincial de Agua Potable de la Provincia encaró, en consecuencia, el tratamiento de esas aguas.

Para la elección del proceso se tuvo en cuenta la experiencia recogida en otros países respecto del uso de sales de magnesio, sales de aluminio, fosfato tricálcico y otros productos, los estudios del Dr. Rogelio A. Trelles y muy especialmente los trabajos del doctor Roque S. Callegaro, quien durante cuatro años experimentó en laboratorio la acción del fosfato tricálcico del hueso sobre el contenido de fluor del agua.

Se decidió en definitiva que la utilización del hueso molido, por la facilidad de obtención en diversos frigoríficos, costo y capacidad de retención de fluor, era el elemento más adecuado. Se elaboró el proyecto de una planta de trata-

miento basado en el uso del citado producto, y el Servicio Nacional de Agua Potable propuso estudios a través de una planta piloto para pequeño caudal, con el objeto de investigar en las mismas fuentes el comportamiento del material de retención, los niveles económicos del proceso y los inconvenientes que podrían presentarse en el manejo de la planta definitiva.

Dicha planta piloto fue construida y con ella se realizó una primera serie de ensayos que dieron una valiosa información, motivando un primer informe del Servicio Nacional. En el mismo se expresaban una serie de conclusiones, en las que básicamente se estableció que:

- 1) "El material de hueso utilizado permite la fijación del fluor contenido en el agua cruda, reduciendo su concentración por debajo de los límites permisibles, sin afectar las calidades organolépticas de la misma".
- 2) "La capacidad de retención responde muy aproximadamente a los niveles previstos".
- 3) "Los ensayos realizados, no obstante haber respondido parcialmente a varios interrogantes planteados, no pueden ser considerados como la respuesta definitiva al problema".

La inseguridad de algunos valores y la precariedad de medios puestos en juego, exigieron una investigación más completa. El Servicio Nacional aconsejó, al respecto, construir una planta piloto para completar los ensayos, que podrían hacerse con metas más definitivas y en base a un conocimiento del que antes carecía.

En base a este primer informe, el Servicio Nacional de Agua Potable, a través de la Secretaría de Estado de

Salud Pública, licitó una planta piloto más completa, con la que habrían de realizarse ensayos seriados para definir la influencia de las diversas variables del proceso, y particularmente la capacidad de retención del hueso, los niveles más convenientes de regeneración, el caudal de operación y regeneración y los costos económicos del tratamiento.

El presente informe tiene como objeto dar a conocer los resultados obtenidos hasta el momento en esa investigación, que por ser satisfactorios han movido a las autoridades del SNAP a autorizar la puesta en marcha de un sistema en su escala definitiva.

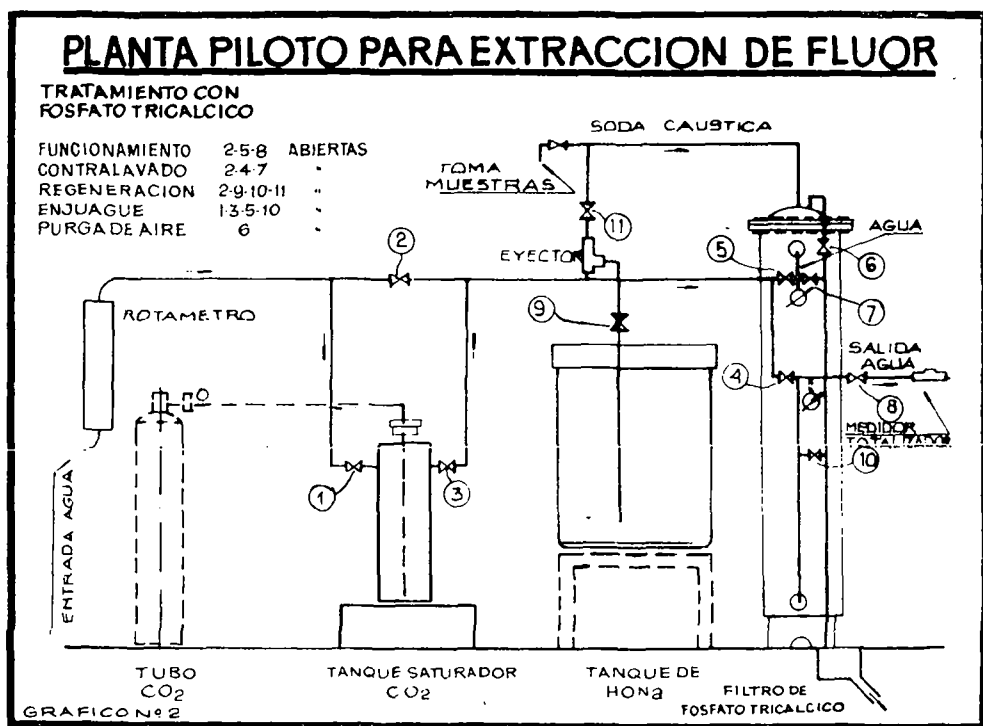
### Planta Piloto para Desfluorización del Agua.

La planta piloto, cuyo esquema se presenta en el Gráfico N° 2, consta esencialmente de los siguientes elementos:

- a) Columna metálica a presión de 0,31 m de diámetro interior y 1,50 m de altura, pintada interiormente con resinas tipo epoxi.

La columna contiene un manto de hueso molido y tratado, de granulometría correspondiente a aberturas de tamices entre 20 y 40 milésimas de pulgada (0,508 y 1,016 mm), sobre un manto de sostén constituido por grava de granulometría decreciente hacia arriba. Un visor en el centro de la columna permite observar la expansión del hueso durante el contralavado.

- b) Un tanque abierto de 100 litros de polietileno para preparar la solución regenerante. La regeneración puede hacerse a través de un eyector que lleva el equipo, pero dados los bajos caudales de regeneración se prefirió realizar



el proceso por simple gravedad, elevando el nivel del tanque de regenerante.

- c) Un recipiente saturador de  $\text{CO}_2$  y tubos de  $\text{CO}_2$  a presión.
- d) Un cuadro de maniobra de PVC con piezas especiales del mismo material, con válvulas a diafragma.
- e) Un medidor totalizador a la salida del agua tratada, para controlar el volumen entre regeneraciones.

### Análisis del Proceso.

El material empleado es hueso obtenido como subproducto en el frigorífico SWIFT de la Ciudad de Berisso, Provincia de Buenos Aires, tratado, triturado y tamizado con granulometría comprendida entre las mallas 20 y 40.

Se ha usado el producto conocido como "hueso 70 %", cuyas características son:

Humedad .....	5 %
Grasa .....	5 „
Fosfato tricálcico ....	70 „
Fósforo .....	15 „

El producto, antes de su utilización en la planta sufre un segundo tratamiento con potasa cáustica al 30 % en caliente ( $60^\circ\text{C}$ ) durante 30 minutos para eliminar los restos de materia orgánica, neutralizando el exceso con un ácido débil.

El mecanismo de intercambio puede interpretarse como la unión de la apatita del hueso con las sales de fluor para formar fluorapatita insoluble; el proceso de regeneración se hace tratando con solución de hidróxido de sodio al

1 %, con lo que se forma hidroxapatita y fluoruro de sodio soluble que se elimina por el desagüe. El exceso de alcalinidad se neutraliza con anhídrido carbónico y la hidroxapatita queda en condiciones de iniciar nuevamente el ciclo.

El volumen de hueso contenido en la columna era de 52 lts para el cual correspondería un nivel de regeneración de 770 g de HONa en el proyecto original de la planta de tratamiento. (En la primera serie de ensayos, para un volumen de 60 lts de hueso se utilizó 900 g de HONa, lo que corresponde al nivel anterior).

### Funcionamiento de la Planta.

En el esquema aparecen señalados los procesos de operación, contralavado, regeneración y enjuague. Debido a que los caudales adoptados de regeneración son muy bajos, el eyector no funcionó adecuadamente, por lo que se elevó el tanque de regenerante, descargando la solución de soda cáustica en el filtro a través de la válvula N° 11.

En base a los resultados de la primera serie de ensayos, se adoptaron los siguientes caudales de operación:

Operación ....	0,500 m <sup>3</sup> /hora
Regeneración .	0,5 lts/minuto
Enjuague lento.	0,5 lts/minuto

Neutralización . 0,500 m<sup>3</sup>/hora

Se ensayaron distintos tiempos de contralavado y enjuague, y los valores definitivos adoptados para las distintas fases del proceso, que se mantuvieron en todas las carreras del equipo, fueron las siguientes:

1º) Contralavado de 15 minutos.

2º) Regeneración con 920 g de HONa al 1 % con un gasto de 0,5 li-

tros/minuto, es decir por un período de 2 horas 20 minutos.

- 3º) Enjuague lento a 0,5 lts/minuto durante 1 hora.
- 4º) Enjuague rápido (5 a 10 minutos).
- 5º) Neutralización hasta alcanzar  $\text{pH} = 7,5$  (aproximadamente 1 hora).
- 6º) Operación.

Las características del agua cruda se muestran en el análisis adjunto.

### Desarrollo de los Ensayos.

Se desarrollaron 16 ciclos o carreras en dos etapas. En la primera etapa (carrera Nº 1 a 10) se ensayaron distintos tiempos de contralavado y enjuague, y determinados los valores convenientes se procedió a realizar diversas carreras en las que se varió el nivel de regeneración, entre 1 y 2 veces el nivel de proyecto.

En cada caso se investigó el sabor del agua tratada, modificación de calidad del agua, etc. Los rendimientos se han calculado considerando un contenido constante de Fluor del agua cruda, lo que corresponde muy aproximadamente a la realidad.

Si bien no hay una correspondencia definida entre el mayor nivel de regeneración y el mayor rendimiento, puede aceptarse (a excepción de la tercera

carrera, que acusó fallas de regeneración) que un mayor nivel de regeneración incrementa el rendimiento de la planta. Con el nivel de regeneración del proyecto, o el mismo aumentado en un porcentaje del 20 %, el rendimiento supera el valor previsto de 900 gramos por  $\text{m}^3$  de hueso.

Parece, pues, conveniente incrementar ligeramente el nivel de proyecto, teniendo en cuenta que al hacerlo (1,2 veces) se asegura la planta contra posibles fallas del proceso, mientras que la incidencia económica es sólo ligera. Por ello se resolvió que la segunda etapa (carrera Nº 11 a 16) de ensayos se haría manteniendo constante ese nivel de regeneración (1.2 del proyecto) y se repitieron las determinaciones de las etapas previas.

La nueva serie de valores confirmó muy aceptablemente las previsiones, oscilando los rendimientos entre 985 y  $1.160 \text{ g/m}^3$  de hueso.

Los resultados obtenidos se han graficado en las Curvas números 1 a 16, donde se representa el contenido en fluor del efluente en mg/litro, en función del tiempo (y el caudal correspondiente) y se sintetizan en el cuadro del Gráfico Nº 3.

### Conclusiones.

El ciclo de ensayos con la planta piloto ha permitido constatar que el elemento intercambiador utilizado no comunica olor ni sabor al agua tratada.

CARRERA	DURACION UTIL	CONSUMO DE REGENERAN	DISUELO en AGUA	TIEMPO de PASAJE	RENDIMIENTO	OBSERVACIONES
Nº	h	gr.	l	h	gr/m <sup>3</sup>	
1	28	1550	150	4	1390	
2	29	1500	150	2	1410	SE MANTUVO LA VELOCIDAD DE REGENERACION
3	22	1500	150	1,5	797	LOS CONTENIDOS ALTOS DE FLUOR AL COMIENZO DE LA CARRERA DEBEN ATRIBUIRSE A UNA FALLA DE REGENERACION
4	26	1550	150	4	1'20	2 VECES EL NIVEL DE REGENERACION DE PROYECTO
5	31	1350	155	3,50	1300	1,8 IDEM
6	25	1200	120	3,20	1130	1,6 IDEM
7	22	1050	105	2,80	990	1,4 IDEM
8	26	900	90	2,40	1010	1,2 IDEM
9	26	750	75	2	950	1,0 IDEM
10	24	900	90	2,40	1030	1,2 IDEM
11	24	900	90	2,40	985	1,2 IDEM
12	28	900	90	2,40	1020	1,2 IDEM
13	20	900	90	2,40	1000	1,2 IDEM
14	24	900	90	2,40	1160	1,2 IDEM
15	22	900	90	2,40	1070	1,2 IDEM
16	20	900	90	2,40	1000	1,2 IDEM

GRAFICO N°3

La capacidad de intercambio puede estimarse en 950 a 1.000 gramos de fluor retenido por metro cúbico de hueso, para un nivel de regeneración equivalente a 17,5 Kg de HONa por m<sup>3</sup> de hueso.

Se verifican las previsiones de proyecto en el sentido que la repetición de los ensayos no disminuye la capacidad de intercambio del material, que se mantiene inalterado con una correcta regeneración.

La velocidad adoptada para la regeneración (0,5 litros/minuto) puede considerarse aceptable.

Puede aceptarse que la concentración del 1% para el regenerante es la más conveniente, en coincidencia con lo aconsejado en los trabajos del doctor Calegario.

Luego de realizados 16 ciclos, con una duración total de más de 450 horas, la pérdida de hueso es del orden de 5,3% del volumen inicial.

#### Análisis Económico del Proceso.

Con las conclusiones primarias se puede entrar en el análisis económico del tratamiento, y determinar la facti-



**ANALISIS DE AGUA N°451.240.-**

Procedencia **EDUARDO CASTEK (La Pampa)**

**LA MUESTRA FUE EXTRAIDA POR EL INTERESADO**

SITIO DE EXTRACCION

1.- Escuela 195- Agua bomba

Muestra extraída el \_\_\_\_\_ Llegada el **26-10-66** Condiciones **tapón corcho**

Muestra N°

1

**ANALISIS QUIMICO**

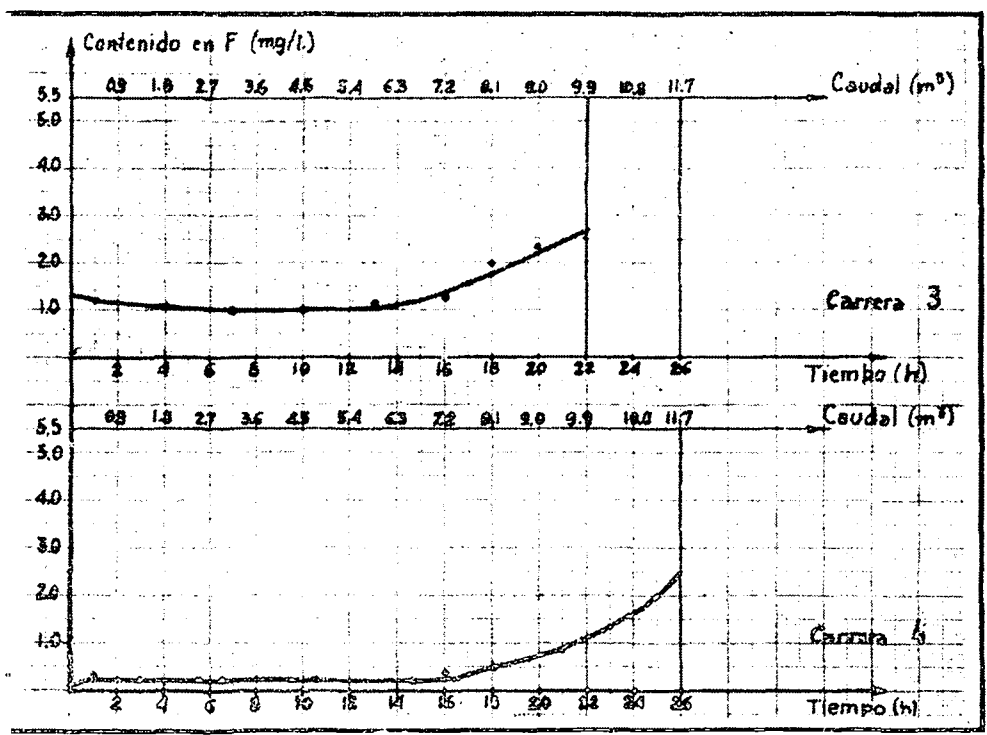
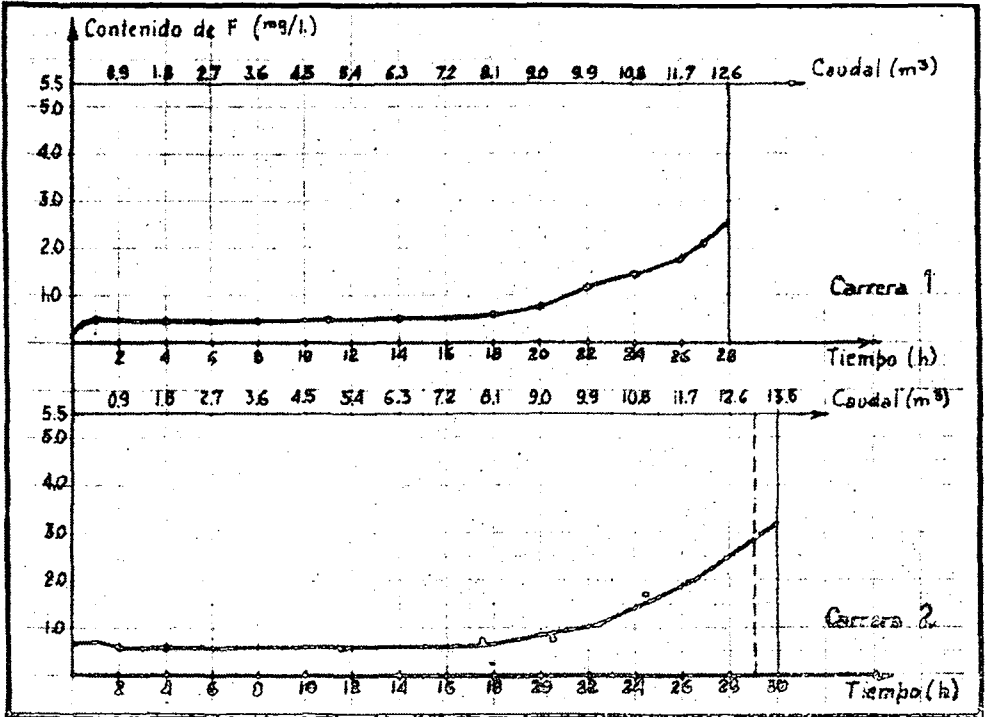
Color	-
Turbiedad	0,6
Olor	-
pH	8,2
Residuo a 105°C. .... mg.l.	3080
Dureza total (en CO <sub>3</sub> Ca)	360
Alcalinidad total (en CO <sub>3</sub> Ca)	445
Cloruros (Cl <sup>-</sup> )	530
Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> )	825
Nitratos (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	91
Nitritos (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	0,01
Amoníaco (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	< 0,05
Silice (SiO <sub>2</sub> )	67
Calcio (Ca <sup>++</sup> )	50
Magnesio (Mg <sup>++</sup> )	55
Sodio (Na <sup>+</sup> )	(
Potasio (K <sup>+</sup> )	(
Cloro residual	-
Hierro total (Fe)	-
Manganeso (Mn)	-
Plomo (Pb)	-
Fluor (F)	5,6
Arqueo (As)	0,18
Materia orgánica	4,0

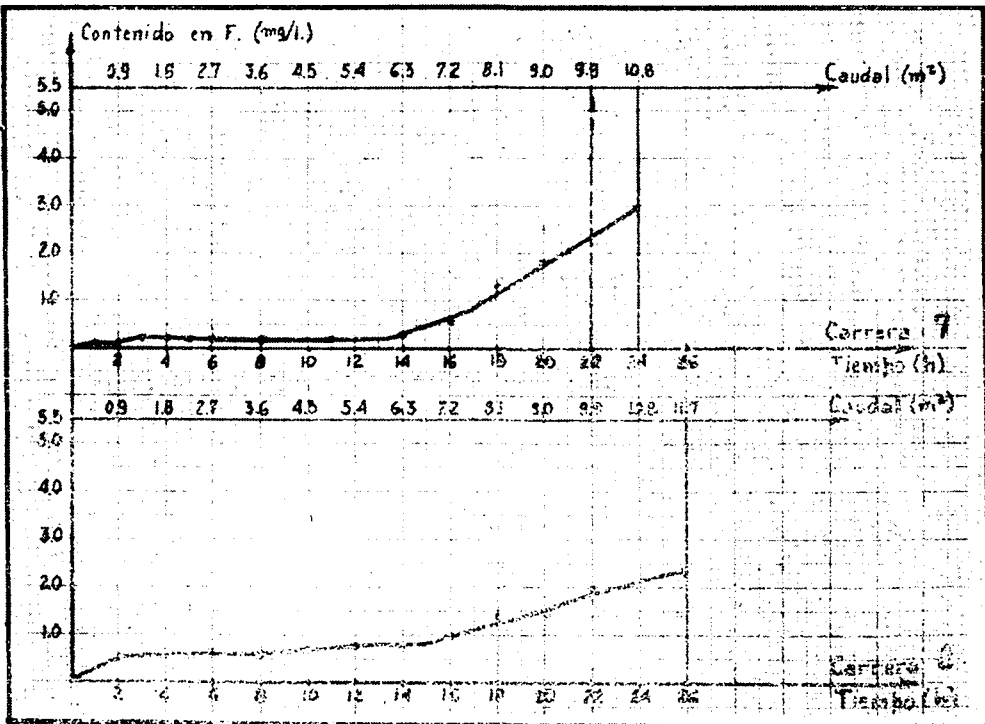
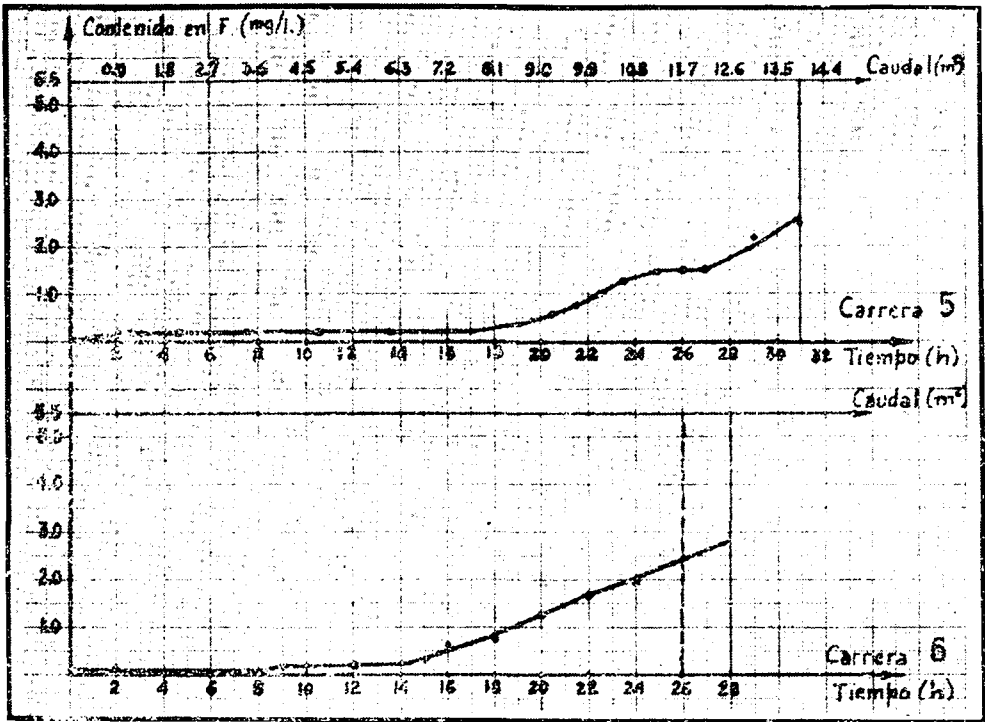
Controlado  
 24  
 11/11/66

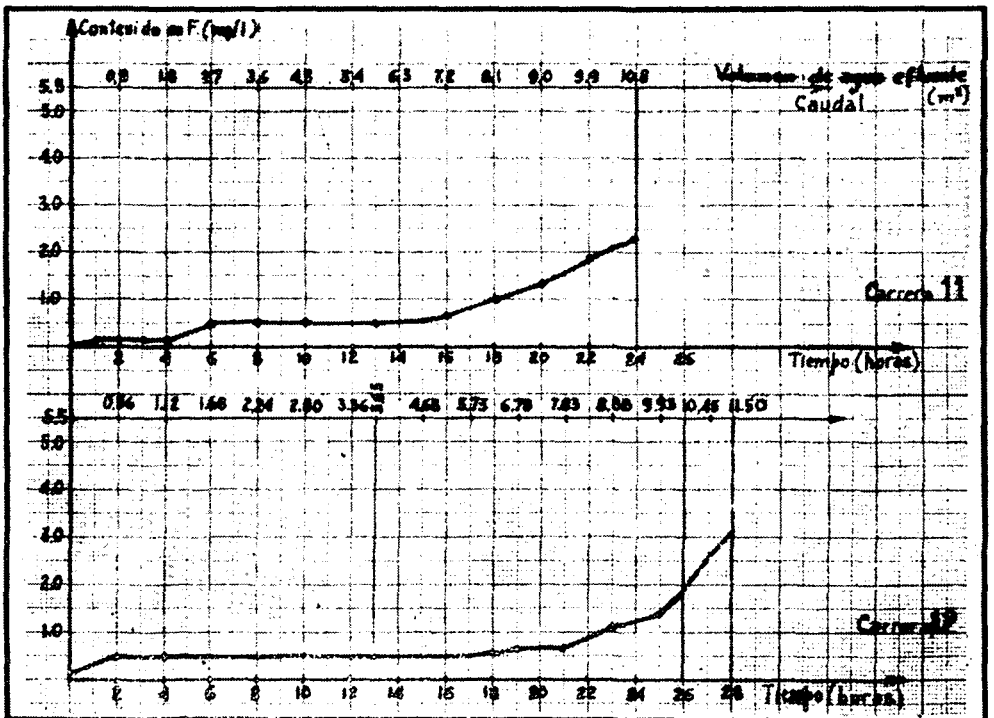
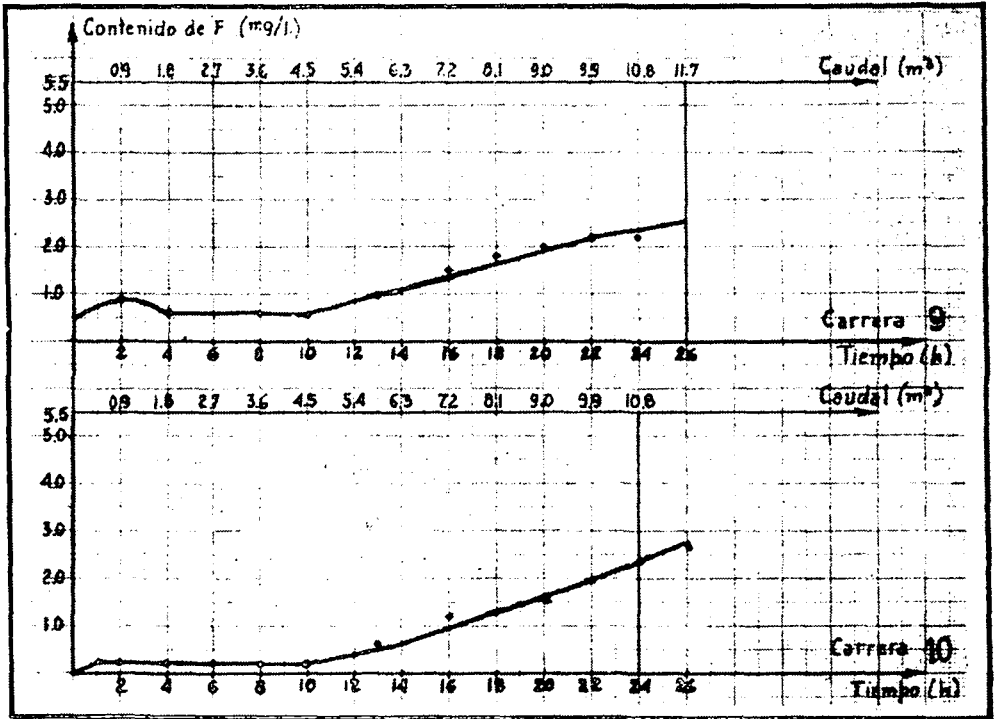
Form. 1.651-B 15.700-66

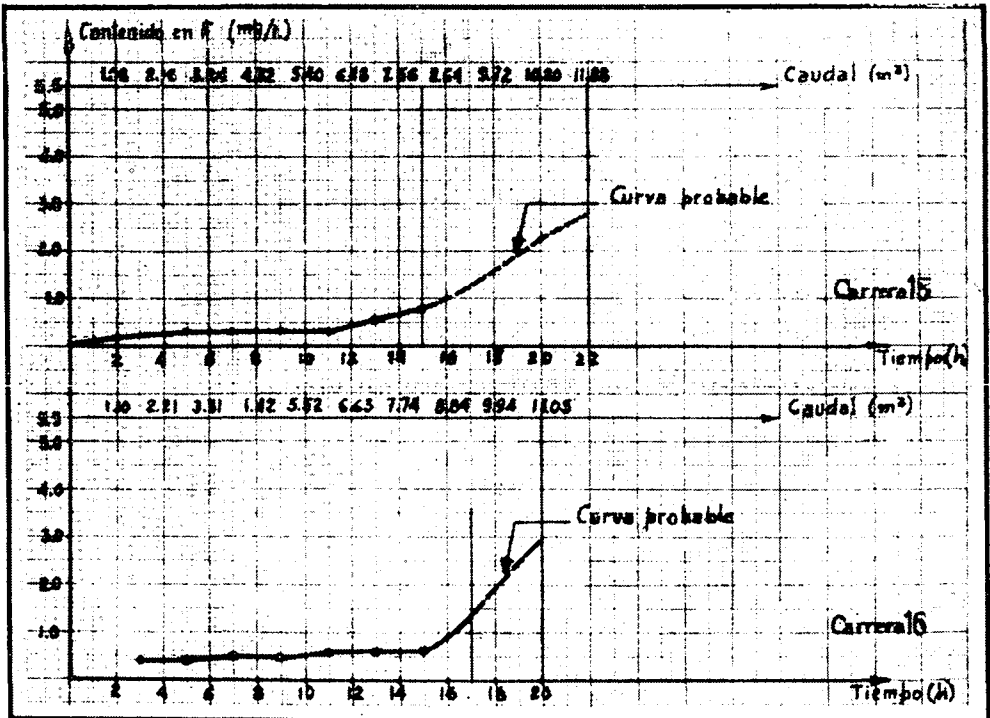
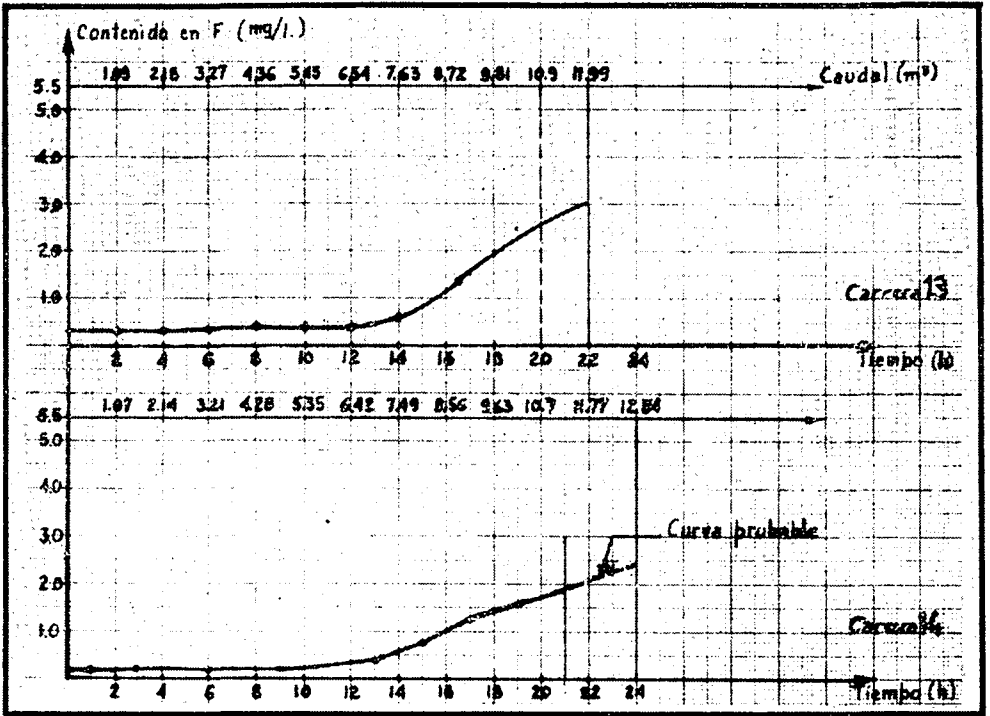
*Andrés*

Dr. LIBIA P. B. de RUELLO  
 Dirección de Química y Tecnología  
 Departamento Aguas  
 Ciudad Autónoma de Buenos Aires









bilidad de su aplicación a las poblaciones rurales.

Consideramos a tal efecto tan sólo los costos de operación y mantenimiento, excluyendo la amortización de la planta, que ha sido considerada en cada uno de los respectivos proyectos.

Tomamos los caudales y demás valores fijados en el proyecto de abastecimiento de Eduardo Castex, es decir: Caudal medio diario = 326 m<sup>3</sup>/día. Contenido promedio de fluor en el agua cruda = 5,5 ppm. Carrera del equipo = 6 días o sea 1.956 m<sup>3</sup> de agua. Capacidad de retención = 1.000 g de F/m<sup>3</sup> de hueso. Volumen de hueso necesario (para retener 4 mg/lts de F) = 7,82 m<sup>3</sup>.

**a) Costo de reposición del hueso:**

La pérdida observada en los ensayos fue del 5,3% después de unas 450 horas de trabajo (19 días). Admitimos valores análogos para la planta en escala industrial, aunque es previsible que en tal caso podrán tomarse los recaudos para disminuir esa pérdida. En consecuencia, debe preverse la sustitución de la totalidad del hueso al cabo de:

$$\frac{19 \times 100}{5,3} = 358 \text{ días}$$

aproximadamente igual a 60 carreras. Tomamos 55 ciclos como seguridad y el costo de reposición será:

$$\frac{7,82 \text{ m}^3 \times 20.000 \text{ \$/m}^3}{55 \text{ ciclos}} = 2.840 \text{ \$/ciclo} = 14.200 \text{ \$/mes}$$

**b) Costo de regeneración:**

Se adoptó el nivel de los ensayos, o sea 1,20 del proyectado. Es decir: 1,20 Kg de HONa puro para 68,4 litros de hueso o sea 137 Kg por ciclo.

Costo:

$$137 \text{ Kg/c} \times 150 \text{ \$ Kg} = 20.550 \text{ \$/c} = 102.750 \text{ \$/m}$$

**c) Anhídrido carbónico:**

Los ensayos revelaron la necesidad de un consumo mayor que el previsto para una adecuada neutralización del álcali. Adoptando 35 Kg de CO<sub>2</sub> por ciclo.

$$35 \text{ Kg/cic.} \times 40 \text{ \$/Kg} = 1.400 \text{ \$/cic.} = 7.000 \text{ \$/mes}$$

$$\text{d) Operador (estim.)} = 60.000 \text{ \$/mes}$$

$$\text{Total operac. y mant.} = 183.950 \text{ \$/mes}$$

**Costo por m<sup>3</sup> de agua tratada:**

$$\frac{183.950 \text{ \$/mes}}{9.780 \text{ m}^3 \text{ agua/mes}} = 18,80 \text{ \$/m}^3$$

Se considera que los valores obtenidos, que deberán ser ajustados oportunamente a las condiciones reales del tratamiento, son aceptables, sobre todo teniendo en cuenta la trascendencia sanitaria del problema.

En consecuencia, el Servicio Nacional de Agua Potable, considerando que las experiencias realizadas son suficientemente concluyentes, ha dispuesto autorizar a las Provincias de La Pampa y Río Negro, a construir sistemas con planta de defluorización. \*