

Editorial de la Universidad  
Tecnológica Nacional

**Potabilización de Aguas Subterráneas:  
REMOCIÓN DE FLÚOR**

**Seminario AGUA**

**Aliota, P.  
Celis, M.  
Juarez, D.  
Merli, G.  
Ricciuti, N.  
Salinas, N.  
Siles, A.  
Stoklas, C.  
Suquele, C.**

**Especialización y Maestría en Ingeniería Ambiental  
Facultad Regional Bahía Blanca  
Universidad Tecnológica Nacional - U.T.N.**

Año 2008

**Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional – U.T.N. - Argentina  
edUTecNe  
<http://www.edutecne.utn.edu.ar>**

# POTABILIZACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS: "REMOCIÓN DE FLÚOR"

Aliota, P; Celis, M; Juarez, D; Merli, G; Ricciuti, N; Salinas, N; Siles, A; Stoklas, C; Suquele, C.

## SITUACION:

EXISTENCIA DE ALTAS CONCENTRACIONES DE FLUOR DISUELTUO (7,5 mg./lt. – C.A.A. 0,7 a 1,0 mg./lt.), DETECTADO EN DOS POZOS DE EXTRACCION DE AGUA (+/- 1.200 m. de profundidad), EN EL SUR DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES..

## OBJETIVO:

DETERMINAR EL METODO / PROCESO FISICO QUIMICO MAS APTO DE REMOCION DE FLUOR PARA OBTENER AGUA POTABILIZADA DENTRO DE LOS PARAMETROS DETERMINADOS POR EL C.A.A. A FIN DE QUE SU INGESTA NO AFECTE LA SALUD DE SUS CONSUMIDORES.

## MARCO LEGAL (LEY DEL AGUA):

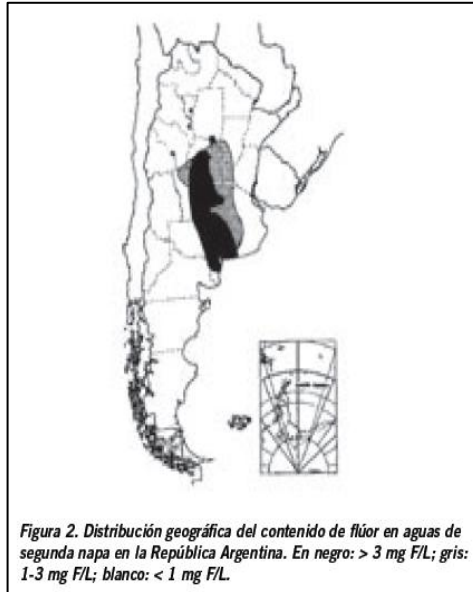
- DECRETO NAC. N° 878/03
- LEY PROV. BS. AS. N° 11.820/96
- LEY NAC. N° 5.968/74

El Código Alimentario Argentino (CAA) mantuvo el valor de 0,05 mg /L de Arsénico hasta mayo de 2007, fecha en que se adoptó el valor de la legislación internacional de 0,01 mg /L (B.O. 30/05/07)

La Ley 11820 de la Provincia de Buenos Aires (Senado y Cámara de Diputados de la Provincia de Buenos Aires, 1996) aún mantienen el valor de 0,05 mg /L ; lo que implica que, eventualmente, en concordancia con el CAA, podría bajar el límite máximo permitido

## AREAS ENDEMICAS DE FLUOR EN EL AGUA SUBTERRANEA DE BEBIDA





## **FUENTES, EFECTOS IMPORTANCIA SANITARIA FLUOR**

### FUENTES DE SUMINISTRO DE FLUOR AL ORGANISMO

- Agua de consumo (aporta un 80 % del F consumido).
- Aplicaciones tópicas, comprimidos.
- Alimentos: harina, leche, sal de cocina, mariscos, infusiones de té, etc. (0.01 a 10 ppm F).
- Pasta dentífrica (floruro de sodio NaF; 1450 ppm F) se ingiere entre 0.5 y 1 mg de F en cada higiene bucal.
- Leche materna (0.01 ppm F)

1 ppm equivale a 1 mg/l ó 1 mg/kg

### INGESTA DE FLUOR SEGÚN LA EDAD (mg/día)

- |               |           |
|---------------|-----------|
| ■ 0 - 6 meses | 0.1 – 0.5 |
| ■ 6 -12 meses | 0.2 – 1   |
| ■ 1 - 3 años  | 0.5 – 1.5 |
| ■ 4 - 6 años  | 1 – 2.5   |
| ■ 7 - 10 años | 1.5 – 2.5 |
| ■ > 11 años   | 1.5 – 2.5 |
| ■ Adultos     | 1.5 – 4   |

Nota: Hasta un 75% del F absorbido se deposita en tejidos calcificados (dientes y huesos). Estando el 99% de F del cuerpo depositado en dichos tejidos.

## **Concentraciones de F recomendados por CAA en el agua según temperatura ambiente**

10 – 12 °C: 0,9 – 1,7 mg./lt.

- 12,1 – 14,6 °C: 0,8 – 1,5 mg./lt.

- 14,7 – 17,6 °C: 0,8 – 1,3 mg./lt.

- 17,7 – 21,4 °C: 0,7 – 1,2 mg./lt.

- 21,5 – 26,2 °C: 0,7 – 1,0 mg./lt.

- 26,3 – 32,6 °C: 0,6 – 0,8 mg./lt.

Nota: valores para temperatura media y máxima, teniendo en cuenta el consumo diario de agua.

## **EFFECTOS DEL FLUOR EN LA SALUD INGERIDO A TRAVES DEL AGUA**

- **EFFECTOS FAVORABLES:**  
prevención de caries dentales, 1 mg/l
  
- **EFFECTOS DESFAVORABLES:**
  - Fluorosis Dental, 2 mg/l
  - Lesiones Oseas (osteopetrosis) 6 mg/l
  - Alteraciones en Tiroideas, 50 mg/l
  - Retraso en el Crecimiento, 100 mg/l
  - Alteraciones Renales, 125 mg/l
  - Muerte, dosis letal de NaF 32 a 62 mg/ kg masa corporal.

## **EFFECTOS DESFAVORABLES**

- **FLUOROSIS DENTAL:**
  - Es una hipomineralización permanente del esmalte de los dientes inducida por el F en el desarrollo de los dientes. En la forma más benigna solamente afecta la capa exterior, produciendo líneas blancas difusas.
  - A medida que la severidad de la fluorosis se incrementa, son afectadas capas más profundas.
  - En su forma leve produce un efecto antiestético (manchas).
  
- **OSTEOPETROSIS (fluorosis esquelética):**
  - Se produce con ingesta prolongadas de F superiores a 3 – 6 mg/l.

- Es una acumulación excesiva de F en los huesos asociados con el aumento de densidad del hueso y y el envejecimiento
- Genera una modificación de la composición externa de los huesos tornándolos frágiles y quebradizos.

**MUESTRAS EXTRAIDAS Y ANALIZADAS DE LAS PERFORACIONES**

**MEDICION REALIZADA (10/04/08)**

<b>CARACTERÍSTICAS FÍSICAS</b>	<b>Nº 1</b>	<b>Nº 2 (ósmosis inversa)</b>
<b>Turbiedad</b>	<b>No se detecta</b>	<b>No se detecta</b>
<b>Color</b>	<b>Incolora</b>	<b>Incolora</b>
<b>Olor</b>	<b>Inodora</b>	<b>Inodora</b>
<b>Sabor</b>	<b>Propio y característico</b>	<b>Propio y característico</b>

<b>CARACTERÍSTICAS QUIMICAS</b>	<b>Nº 1</b>	<b>Nº 2</b>	<b>CAA</b>
<b>PH (Mét. Potenciométrico)</b>	<b>8.37</b>	<b>5.99</b>	<b>6.0-8.5</b>
<b>Cloruros mg/L</b>	<b>338.9</b>	<b>21.5</b>	<b>350</b>
<b>Dureza Total (mg/L CaCO3)</b>	<b>22.0</b>	<b>4.0</b>	<b>400</b>
<b>Fluoruro (mg/L)</b>	<b>7.50</b>	<b>0.06</b>	<b>0.7- 1.0</b>
<b>Nitratos (mg/L NO3)</b>	<b>6.0</b>	<b>0.7</b>	<b>45</b>
<b>Nitritos (mg/L NO2)</b>	<b>0.04</b>	<b>0.004</b>	<b>0.10</b>
<b>Salinidad %</b>	<b>0.8</b>	<b>0.2</b>	<b>--</b>
<b>Sólidos Disueltos Totales (mg/L)</b>	<b>765</b>	<b>156</b>	<b>1500</b>
<b>Conductividad (microS/cm)</b>	<b>1150.0</b>	<b>341.0</b>	<b>--</b>

**2ra. MEDICION REALIZADA (06/08/08)**

<b>CARACTERÍSTICAS FÍSICAS</b>	<b>MUESTRA PERFORACIÓN</b>	<b>CAA</b>
<b>Turbidez (NTU)</b>	<b>0.47</b>	<b>3</b>
<b>Color (Pt – Co)</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>Olor</b>	<b>inodora</b>	<b>--</b>
<b>Sabor</b>	<b>Propio y característico</b>	<b>--</b>

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	MUESTRA POZO	CAA
PH	8.01	6.0 – 8.5
Conductividad (microS/cm)	930	
Alcalinidad total (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	122 mg/L HCO <sub>3</sub> + 2 mg/L CO <sub>3</sub>	400
Cloruro (mg/L)	61.19	350
Dureza (mg/L Ca CO <sub>3</sub> )	216	400
Fluoruro (mg/L)	0.73	0.7 – 1.0
Hierro (mg/L)	N/D	0.30
Nitrato (mg/L NO <sub>3</sub> )	5.3	45
Nitrito (mg/L NO <sub>2</sub> )	1	0.10
Amonio (mg/L NH <sub>4</sub> )	0.47	0.20
Sulfatos (mg/L SO <sub>4</sub> )	50	400
salinidad	5.9	--

### SELECCIÓN DE LA TÉCNICA DE TRATAMIENTO DE FLUOR

#### MÉTODOS / PROCESOS DE TRATAMIENTO

- ABLANDAMIENTO CON CAL
- COAGULACIÓN CON ALUMINIO
- ALÚMINA ACTIVADA
- RESINAS DE INTERCAMBIO IÓNICO
- ÓSMOSIS INVERSA
- HUESO MOLIDO

#### 1. ABLANDAMIENTO CON CAL

##### DESCRIPCIÓN DEL PROCESO:

- Es el proceso por el cual se remueve el flúor mediante la aplicación de cal (90 % CaO min y 2 % MgO max) formando un precipitado insoluble por coprecipitación de Hidróxido de Magnesio (Mg(OH)<sub>2</sub>)
- La relativamente alta solubilidad del fluoruro de calcio limita la reducción del flúor por ablandamiento solo, pero lleva sus niveles a valores aceptables.
- Igualmente, en aguas con altas concentraciones de Mg, el Flúor puede ser reducido considerablemente por coprecipitado.

- La ecuación teórica que relaciona la cantidad de flúor inicial con el removido mediante la aplicación de cal (por su contenido de Mg), es la siguiente:

$$F_{\text{residual}} = F_{\text{inicial}} - (0,07F \times \text{Mg}/2)$$

- Es decir que para reducir de 5,0 a 1,5 mg/l el nivel de flúor se requieren 100 mg/l de Mg.

#### DESVENTAJAS DEL MÉTODO:

Producción de gran cantidad de lodos y la necesidad de grandes cantidades de Mg. en el agua.

1.  $\text{CO}_2 + \text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$
2.  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 + \text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow 2 \text{CaCO}_3 + 2 \text{H}_2\text{O}$
3.  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2 + \text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3 + 2 \text{H}_2\text{O}$
4.  $\text{Mg}(\text{CO}_3) + \text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{Mg}(\text{OH})_2 + \text{CaCO}_3$

## 2. COAGULACIÓN CON SULFATO DE ALUMINIO Y OTROS COAGULANTES ALUMINIZADOS

#### DESCRIPCIÓN DEL PROCESO:

- La coagulación con Sulfato de Aluminio reducirá los valores de flúor a niveles aceptables, pero se requerirán grandes cantidades de éste para hacerlo a aceptables para el consumo de agua para bebida.
- Se puede reducir de 3,6 a 1,4 mg/l la cantidad de Flúor utilizando 250 mg/l de sulfato de aluminio (el agua así tratada podría contener una alta concentración de aluminio disuelto)
- Por esta razón se utiliza este método como un tratamiento de ajuste.
- En cambio, utilizando el aluminio como Policloruro de Al (PAC) ofrece ventajas respecto del sulfato de aluminio, por cuanto con una dosis de 50 mg/l de PAC, se obtienen valores residuales de:

Flúor residual: 1,3 mg/l

Aluminio residual: 0,03 mg/l

#### DESVENTAJAS DEL MÉTODO:

- En el caso del Sulfuro de Aluminio, se requiere un PH del agua de entre 5,5 a 7,0 para la floculación.
- También tiene como desventaja la gran producción de lodos.

- **Ambos tratamientos (Sulfuro de Aluminio y PAC), son poco convenientes desde el punto de vista económico, pues requieren grandes cantidades de los compuestos mencionados por litro de agua (250 mg/l en el primero y 50 mg/l en el segundo)**

**El rendimiento del sulfato de aluminio ( $Al_2SO_4$ ) es ligeramente menor que el del sulfato férrico ( $Fe_2SO_4$ ). A un pH de 7.6 o menor, ambos coagulantes tienen la misma eficiencia de remoción, sin embargo el sulfato férrico remueve mejor a un pH menor de 7.6.**

### **3. ALÚMINA ACTIVADA**

#### **DESARROLLO DEL PROCESO**

- **Alúmina activada  $Al_2O_3$  es una forma granulada del óxido de aluminio tratado térmicamente (calentamiento a  $800^\circ C$ ) adquiriendo, según su proceso de producción, un área superficial de 200-300 metros cuadrados por gramo.**
- **En el proceso de filtrado se hace pasar agua que contiene el contaminante a través de un cilindro o contenedor de alúmina activada.**
- **La alúmina adsorbe el Fluor y el agua tratada puede ser utilizada como agua de bebida.**
- **Para que la adsorción sea efectiva es necesario reducir el pH del agua a tratar a un rango óptimo ( pH= 5,5 ) utilizándose para ello un ácido.**
- **Al ser tratada con una solución ácida ( $H_2SO_4$ ), la alúmina se carga positivamente y absorbe selectivamente a los aniones en solución  $H_2FO_4^-$ .**
- **El contenedor de la alúmina debe ser sustituido periódicamente si no se la regenera.**
- **Una vez que la alúmina ha absorbido la masa máxima de contaminante, el filtro tenderá a liberar Fluor en lugar de removerlo.**

#### **RECUPERACION DE LA ALUMINA:**

- **Luego de la circulación de un volumen predeterminado de agua a través del medio adsorbente, el tanque que lo contiene debe ser lavado, regenerando la alúmina con soda cáustica. ( $NaOH$ ) o Sulfato de Aluminio  $Al_2(SO_4)_3$ .**
- **El proceso de regeneración produce una solución altamente contaminante con exceso de fluór la cual deberá ser convenientemente tratada antes de su disposición final.**



### DESVENTAJAS DE ESTE METODO:

- El proceso es poco conveniente desde el punto de vista económico al ser necesario regenerar periódicamente el filtro de alumina.
- Requiere para su operación personal calificado..
- Requiere un adecuado tratamiento de los desechos del proceso.

En la superficie de adsorción de la alúmina activada ( $Al_2O_3$ ) pueden interferir el selenio, cloruro y sulfato. Este método tiene alta remoción de arsénico a pH 8.2.

Adsorción de iones competitivos como muestra la relación:

$OH^- > H_2AsO_4^- > Si(OH)_3O^- > F^- > HSeO_3^- > Cl^- > SO_4^{2-} > H_3AsO_3$

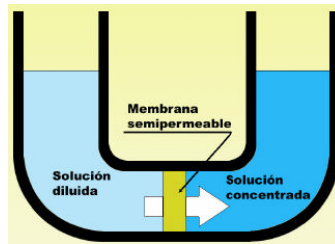
### 4. RESINAS DE INTERCAMBIO IONICO

- Las resinas son grupos funcionales que intercambian aniones y cationes al ponerse en contacto con soluciones salinas (substancias sólidas insolubles – esferas de 1 a 0,3 mm.)
- **PRINCIPIO DE DESALACION:** “INTERCAMBIO IÓNICO” al pasar el agua salobre a través de una columna conteniendo resinas intercambiadoras de cationes en forma de hidrógeno y luego por otra intercambiadora de aniones hidrófilos. Los cationes y aniones del agua se fijan en tales grupos activos, librándose iones y quedando el agua sin sales disueltas.
- **DESVENTAJAS:**
  - Agotamiento de las resinas exige regeneración con reactivos químicos (uno ácido y otro básico).
  - Devuelve al medio ambiente el doble de las sales extraídas al precisar un ácido y una base para regenerar las resinas intercambiadoras.
  - Económicamente rentable con salinidades inferiores a los 500 mg/l.

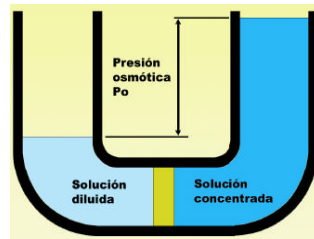
La resina básica de intercambio iónico adsorbe los iones con la siguiente preferencia:

$HCrO_4^- > CrO_4^{2-} > ClO_4^- > SeO_4^{2-} > SO_4^{2-} > NO_3^- > Br^- > HPO_4^{2-}, HAsO_4^{2-},$   
 $SeO_3^{2-}, CO_3^{2-} > CN^- > NO_2^- > Cl^- > H_2PO_4^-, H_2AsO_4^-, HCO_3^- > OH^- > CH_3COO^- > F^-$

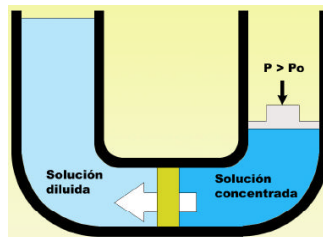
## 5. ÓSMOSIS INVERSA



## FENOMENO DE OSMOSIS



## EQUILIBRIO OSMOTICO ( $P_o = P_{conc.} - P_{dil.}$ )



## OSMOSIS INVERSA

- La “capa activa” de la membrana semipermeable es la responsable de impedir el paso a las impurezas disueltas separando “rechazo” y “permeado”.
- OBSERVACIONES:
  - Alta eficiencia (84 – 100 %) pero su rédito económico es proporcional al tamaño de la planta.
  - Exige pre-acondicionamiento del agua a tratar (pre-filtros por turbiedad, hierro, manganeso, coloides y sílices para evitar taponamientos y roturas de la membrana).
  - Altos costos de las membranas (recambio cada 4 años).
  - Prever disposición final de las sales separadas.

## 6. HUESO MOLIDO

- Separación del FLUOR por principio de Intercambio iónico.

- El hueso molido es un elemento con capacidad para retener el ión F<sup>-</sup> (1,2) contenido en aguas naturales.
- La materia inorgánica del hueso está constituida principalmente por cristales submicroscópicos de Hidroxiapatita (HaP), de fórmula general Ca<sub>10</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>6</sub>(OH)<sub>2</sub>, depositada en forma de agujas delgadas. Los principales iones en el tejido óseo son Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup>, Na<sup>+1</sup>, Fe<sup>+3</sup>, CO<sub>3</sub><sup>-2</sup>, PO<sub>4</sub><sup>-3</sup>, OH<sup>-1</sup>

### **OBSERVACIONES:**

- Anualmente se pierde el 0,5 % con el Retrolavado.
- Hueso de vaca calcinado (E/ 450–600 °C) y molido
- Apto solo para retención de FLUOR.

### **ASPECTOS A CONSIDERAR PARA LA SELECCIÓN DE PROCESOS DE TRATAMIENTO**

1. CARACTERÍSTICAS DE LA FUENTE DE AGUA.
2. CAPACIDAD Y DISPONIBILIDAD DE LA FUENTE.
3. CARACTERÍSTICAS SOCIOECONÓMICAS DE LA LOCALIDAD.
  - A. FASE INICIAL
  - B. FASE DE PRESELECCIÓN DE PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUA
4. FASE DE SELECCIÓN.
5. CONCLUSIÓN

#### **1. Características de la Fuente de Agua**

El factor que más influencia tiene en el proceso de selección de métodos a ser utilizados en una planta de tratamiento es la calidad del agua cruda.

Contaminante o característica	Tipo de Agua Cruda según ABTN (d)			
	A	B	C	D
<i>DBO (mg/L):</i> -Promedio mensual -Máximo (cualquier muestra)	< 1,5 3,0	1,5-2,5 4,0	2,5-4,0 6,0	>4,0 >6,0
<i>Coliformes Totales (NMP/100 ml):</i> -Promedio mensual -Máximo día	50-100 > 100 (a)	100-5000 > 5.000 (b)	5.000-20.000 > 20.000 (c)	> 20.000 -
<i>pH:</i> -Promedio	5-9	5-9	5-9	,8-<10,3
<i>Cloruros (mg/L):</i> -Máximo	< 50	50-250	250-600	>600
<i>Fluoruros (mg/L):</i> -Máximo	< 1,5	1,5-3,0	> 3,0	-

(a) En menos del 5% de las muestras examinadas.  
(b) En menos del 20% de las muestras examinadas.  
(c) En menos del 5% de las muestras examinadas.  
(d) ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas (Proyecto de Plantas de Tratamiento para Abastecimiento Público (1989).

## 2. Capacidad y Disponibilidad de la Fuente.

Es de vital importancia realizar el análisis de la capacidad de la fuente. Este puede ser un factor limitante.

## 3. Características Socioeconómicas de la Localidad.

### A. Fase Inicial

### B. Fase de Preselección de Procesos de Tratamiento de Agua

### A. Fase Inicial

- 1) Datos demográficos → Proyección de Población.
- 2) Capacidad del sistema → Estudio de demanda.
- 3) Calidad del agua cruda → Características del agua cruda de la principal fuente o de alternativas.
- 4) Calidad de agua para consumo humano exigido → Características físicas, químicas y bacteriológicas, de la zona de estudio (conocer las limitaciones desde el punto de vista de la tecnología de tratamiento a utilizar)
- 5) Factores técnico sociales → Nivel técnico social. (por zona)
- 6) Recursos locales →
  - Equipo para la operación de los sistemas (motores, bombas, medidores, equipos de laboratorio, etc.).

- **Fabricación de materiales (tuberías, válvulas, tanques, instrumentos de medición, conexiones, etc.).**
- **Materiales básicos, tanto para la construcción civil (ladrillos, piedra, arena, etc.) como para las instalaciones del sistema a ejecutar (grava, arena para filtros, etc.).**
- **Insumos para operación y mantenimiento (coagulantes, carbón activado, cal, clorógeno, drogas para laboratorio).**
- **Agua subterránea o superficial (río, arroyo, lago, embalse) en caudales suficientes para atender la demanda calculada.**

### ***B. Fase de Preselección de Procesos de Tratamiento de Agua***

Proceso	Nivel de desarrollo mínimo requerido	Proceso	Nivel de desarrollo mínimo requerido
1. Sin tratamiento	I a II	5. Desinfección	
2. Pre – Tratamiento		5.1 Hipoclorito	I
2.1 Desarenadores	I	5.2 Cloro	III
2.2 Sedimentación preliminar	I	5.3 Ozono	IV
2.3 Filtración gruesa	I	6. Otros Procesos	
2.4 Micro – cernido	III	6.1 Control de olores y sabores	III
2.5 Control de algas	IV	6.2 Control de corrosión	III
2.6 Coagulación	III	6.3 Control de algas	III
2.7 Floculación	III	6.4 Fluoruración	III
2.8 Sedimentación	III	6.5 Remoción de fluoruros	IV
3. Filtración Lenta		6.6 Remoción de contaminantes inorgánicos	IV
3.1 Filtros convencionales	I	6.7 Remoción de contaminantes orgánicos	IV
3.2 Filtros modificados	I	6.8 Desalinización	
3.3 Filtros de flujo ascendente	II	6.9 Disposición y tratamiento de lodos	IV
3.4 Filtros dinámicos	I	6.10 Ablandamiento	IV
4. Filtración rápida		6.11 Aeración	II
4.1 Convencional	III		
4.2 De velocidad declinante	III		
4.3 Filtración directa: ascendente o descendente	IV		
4.4 Filtración doble: ascendente- descendente	IV		

Fuente: Programa Regional HPE / OPS / CEPIS de Mejoramiento de la Calidad de Agua para Consumo Humano – Manual II

**Nivel I:** El progreso económico y social depende del empleo continuo. Cuentan con recursos humanos locales insuficientes. (localidad agrícola y población rural).

**Nivel II:** Dependen de ciudades centrales para satisfacer sus necesidades de recursos humanos ingenieriles. Ejercen mayor presión política para mejorar la educación y el nivel de vida. Cuentan generalmente con Cooperativas de Agua Potable.

**Nivel III:** Son de aplicabilidad las tecnologías modernas sin ayuda exterior importante. Amplia base de educación primaria con escuelas secundarias bien desarrolladas. Escaso desarrollo de recursos humanos científico, tecnológico. Cuellos de botella en áreas como producción de electricidad, servicios públicos etc.

**Nivel IV:** Economía industrial avanzada. Capacidad de hacer descubrimientos e innovaciones importante de tipo científico, tecnológico y organizacional, al contar con grupos grandes de recursos humanos de alto nivel, sobretodo científicos, profesionales, ingenieros, personal administrativo y gerencial.

## 4. Fase de Selección

En esta fase se debe realizar el análisis de costos y la selección final de los procesos. A nivel de estudio de “factibilidad” se debe determinar los costos de construcción, operación y mantenimiento, con un grado de confiabilidad que permita un orden adecuado de comparación.

### TECNOLOGÍA DE ALTO COSTO.

- EFICIENCIA LIMITADA.
- TERMINACIÓN DE CARRERA NO PERCEPTIBLE.
- MODIFICACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA.
- LIMITACIONES DE TABÚ.

Comparación de Distintas Tecnologías (ENOHSA - Ente Nacional de Obras Hídricas se Saneamiento)

Tecnología	Remoción (%)	Ventajas	Desventajas
Ablandamiento con cal	M	Método sencillo. Bajo costo. Productos químicos fáciles de obtener.	Necesidad de subir el pH a valores altos. Disposición del barro.
Coagulación con sulfato de aluminio	B	Método sencillo. Bajo costo. Productos químicos fáciles de obtener.	Poco eficiente para altos valores de flúor en el agua a tratar. Necesidad de bajar el pH a valores bajos. Disposición del barro.
Adsorción Hueso Molido	A	Método sencillo. Bajo costo.	Necesidad de un adecuado desengrasado del hueso para evitar problemas de olor y sabor en el agua tratada.
Adsorción Alúmina Activada	A	Operación de acuerdo a la demanda. Altamente selectiva para flúor y arsénico	Necesidad de bajar el pH Se requiere una base y un ácido para su regeneración El medio tiende a disolverse produciendo partículas finas Disposición del residuo.
Osmosis Inversa	A	Muy buena eficiencia.	Preacondicionamiento del agua a tratar. Alto costo de producción de agua. Cambio de membrana cada 4 años. Disposición final rechazo.
Intercambio Iónico	A	Técnica selectiva de iones. Operación de acuerdo a la demanda.	Alto costo de tratamiento. Regeneración. Disposición final del residuo
A = Alta = mayor a 80%, M = Media = de 20 a 80%, B = Baja = menor a 20%			

## 5. CONCLUSIÓN

A la hora de definir, las resinas de intercambio y la ósmosis inversa, pueden ser útiles si al mismo tiempo se necesita desmineralizar el agua o reducir otros elementos, pues son más costosas que los tratamientos específicos (ej. para remoción de flúor solamente con hueso molido).

## **Bibliografía**

APHA (American Public Health Association), AWWA (American Water Works Association), WPCF (Water Pollution Control Federation). Métodos normalizados, para el análisis de aguas potables y residuales. Ed. Díaz de Santos.

CUSTODIO, R – LLAMAS, M. Hidrología subterránea. 2º Edición. Ed. Omega.

CALLEGARO, Roque. Bases para el estudio y proyecto de plantas de defluoración de aguas para consumo humano. UNLP. Lab. Ing. Sanitaria. 1983, 90p.

COMMITTEE ON NUTRITION. Food and Nutrition Board. Pediatrics. USA. 1980.

ESKEL NORDEL, Tratamiento de agua para la industria y otros usos. 2º Ed. Compañía editorial Continental, SA.

MUHLER, J. Fluoride and Human Health. Geneva, 1970.

ROMERO ROJAS, Jairo. Potabilización del agua. 3º Ed. Alfaomega.