

remoción de hierro total en los procesos de floculación, sedimentación y filtración

VICTORIA E. PACHECO SECADES*

RESUMEN

Se determinó la eliminación de hierro total con procesos convencionales de floculación, sedimentación y filtración en aguas de 24 diferentes ríos de Costa Rica. Se concluye que el grado de esta remoción es suficiente para dejar concentraciones residuales que están dentro de los valores señalados por la O.M.S. (1983), menores a 0,3 mg/L de hierro para aguas filtradas.

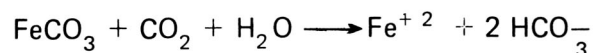
INTRODUCCION

El alto contenido de hierro provoca serios problemas técnicos en el abastecimiento de agua potable.

Este tipo de agua, al entrar en contacto con el aire y absorber oxígeno, se enturbia y desde el punto de vista estético se torna inaceptable, debido a la oxidación del hierro que forma precipitados coloidales. El hierro además imparte sabor al agua, que se percibe aún a concentraciones muy bajas. En la industria también es inconveniente pues interfiere con la mayoría de los procesos. Las aguas que contienen hierro favorecen el crecimiento de la bacteria *Crenotrix* del hierro. Esta bacteria es tan abundante en las tuberías de aguas y sistemas de recirculación, que ejerce un marcado efecto de taponamiento, disminuyendo el flujo.

El hierro existe en el suelo, principalmente como óxido férrico que es insoluble. En algunas partes se encuentra como carbonato ferroso (siderita), que es ligeramente soluble. Como las aguas subterráneas frecuentemente contienen

cantidades considerables de bióxido de carbono, pueden disolver cantidades apreciables de carbonato ferroso, conforme la siguiente ecuación:



de la misma manera que se disuelven los carbonatos de calcio y magnesio. Sin embargo, también existen problemas en sitios donde hay compuestos férricos insolubles. Siempre que se tenga oxígeno disuelto, no sucederá la disolución en cantidades apreciables de hierro, aún en presencia de bióxido de carbono. En cambio, bajo condiciones anaeróbicas (o de reducción), se reduce el hierro férrico o ferroso y la disolución se lleva a cabo fácilmente. Hasta la fecha, no se conocen efectos perjudiciales a la salud humana derivados del consumo de agua con alto contenido férrico.

El presente trabajo se realizó para determinar qué cantidad de hierro podría ser eliminada por medio de los procesos de coagulación—floculación, sedimentación y filtración.

SECCION EXPERIMENTAL

Para simular los procesos de floculación—sedimentación se empleó la prueba de jarras. Esta prueba fue desarrollada en su forma original a principios del siglo pasado por Langelier y Block y aún es el mejor sistema que se tiene para simular los procesos de tratamiento indicados y así obtener diferentes parámetros importantes tanto para el diseño como para la operación de plantas potabilizadoras.

La prueba ha sido mejorada en años recientes (1,3) mediante la utilización de jarras mayores (2 L) y equipos más precisos para la medición de los diferentes parámetros involucrados. A pesar de lo anterior deben tomarse en cuenta las siguientes limitaciones:

* Laboratorio Central — Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados.

- a) La escala de turbulencia es diferente a la producida en una planta.
- b) En las jarras no existen cortocircuitos ni espacios muertos y el agua queda retenida todo el tiempo de retención en las mismas. En los floculadores de las plantas el agua no fluye a menudo bajo esas condiciones.
- c) La precisión en la dosificación durante las pruebas difícilmente es alcanzada en los dosificadores utilizados en las plantas.
- ch) La sedimentación se produce con el agua quieta y no en movimiento como ocurre en un sedimentador real.

Las experiencias efectuadas en muchos países indican que la prueba de jarras a pesar de las limitaciones señaladas permite alcanzar una razonable aproximación entre los resultados obtenidos en ellas y los conseguidos en las plantas. Es por esta razón que su empleo es muy generalizado y sus resultados bastante aceptables.

Las pruebas de jarras se efectuaron como indica la metodología en la referencia 1.

Se usaron las siguientes condiciones:

Mezcla rápida, 1 minuto a un gradiente de 185 s^{-1} ; mezcla lenta, 15 minutos a un gradiente de 50 s^{-1} , sedimentación, 5 minutos; altura de toma de las muestras, 6 cm; se usaron beaker de 2 litros y deflectores.

Las determinaciones de hierro se efectuaron por el método de la o-fenantrolina (2).

Se tomaron muestras de 20 ríos diferentes en todo el territorio de Costa Rica, a las cuales se les determinó el contenido de hierro total inicial (agua cruda) y el contenido de hierro del agua sedimentada y filtrada. Las muestras fueron tomadas en el mismo sitio en fechas diferentes.

RESULTADOS Y DISCUSION

De los resultados obtenidos del Cuadro No.1, podemos observar que existe una estrecha relación entre la turbiedad del agua y el contenido de hierro. Lo anterior es comprobado en la Figura No.1 en la que se tomaron como ejemplo las aguas del Río Barranca (Cuadro No. 2) por ser las que tienen la mayor cantidad de datos.

De esta gráfica puede observarse que con la excepción de uno de los datos ($T_o = 550 \text{ U.F.}$, hierro total: 101 mg/L) el agua tiene un aumento proporcional en su contenido de hierro con el incremento en la turbiedad de la misma.

Si observamos la remoción de hierro que hay entre el agua cruda y la filtrada después de haber pasado el proceso de sedimentación, se nota que es muy eficiente, correspondiendo de un total de 50 muestras a 48 con contenidos de hierro menores a $0,30 \text{ mg/L}$, o sea un 96% de eficiencia.

De la columna de "% de remoción de hierro" se observa que un 84% de las muestras tienen una remoción mayor al 95% . Estos resultados se consideran muy buenos notando sobre todo que el restante 16% corresponde a muestras cuyos contenidos de hierro son inferiores a los valores pautas de la O.M.S. de 1983 ($0,3 \text{ mg/L}$.)

CONCLUSION

Los resultados mostrados en esta comunicación son de gran interés ya que muestran que una planta de tratamiento convencional es suficiente para tratar aguas con alto contenido de hierro.

Los casos de ríos estudiados aquí indican que para las propiedades de las aguas fluviales de Costa Rica, el valor de construcción de plantas procesadoras puede bajarse considerablemente; debido a que no son necesarios procesos adicionales como la aereación destinada a oxidar el hierro en solución.

CUADRO No. 1. Parámetros físico –químicos del agua cruda, sedimentada y filtrada.

Río	Localización	AGUA CRUDA					AGUA SEDIMENTADA			AGUA FILTRADA			Remoción de hierro o/o
		Turbiedad u.f.	Color aparente u.c.	Color verdadero u.c.	Hierro total mg/l	Dosis de sulfato de aluminio mg/l	Turbiedad u.f.	Color aparente u.c.	Hierro total mg/l	Turbiedad u.f.	Color aparente u.c.	Hierro total mg/l	
Q. Pital	Alajuela	6,9	17,5	7,5	0,30	20	3,9	5	0,2	0,75	0	0,05	83
Q. Pital	Alajuela	336	550	90	29	40	7	10	0,05	0,9	2,5	0	100
Quebradas	San José	32	37,5	7,5	2,8	25	1,4	2,5	0,15	0,9	0	0	100
Chirripó	San José	350	325	55	32,0	17,5	7,9	7,5	0,05	1,1	2,5	0	100
Negro	San José	146	225	45	22	20	2,9	5	0,35	0,6	2,5	0	100
Negro	San José	150	225	45	18	22,5	3,4	5	0,75	0,85	2,5	0	100
La Cruz	San José	5,6	15	5	0,40	17,5	0,10	0,10	0,5	0,5	0	0	100
Pacacua	San José	740	900	90	57,5	62,5	27	22,5	1,10	2,9	5	0,1	99,8
Q. Honda	San José	60	65	15	5	22,5	2,4	2,5	0,05	0,8	0	0	100
Tino Sibaja	San José	5415	6875	225	338	100	6,2	7,5	0,1	2,6	5	0	100
Cajón	Alajuela	7,6	17,5	7,5	0,75	17,5	2,1	5	0,23	0,70	0	0,1	87
Q. Navajas	San José	7,2	7,5	5	0,05	12,5	1,6	2,5	0,05	0,83	0	0	100
Quebradas	San José	4,7	5	2,5	0,40	20	1,0	0	0,10	0,52	0	0,05	88
Curubres	San José	200	325	32,5	30,0	40	1,8	5	0,14	0,37	0	0	100
Pacacua	San José	2150	2250	325	131,3	110	6,3	90	3,85	1,1	2,5	0	100
Q. Los Calvos	San José	2,1	5	2,5	0,15	15	1,6	2,5	0,35	0,47	0	0,05	67
Liberia	Guanacaste	21	45	22,5	0,80	10	4	7,5	0,10	0,45	2,5	0,05	94
Cajón	Alajuela	5,5	22,5	10	0,50	12,5	3,6	7,5	0,45	0,45	2,5	0,05	90
Pejibaye	San José	7,4	22,5	10	0,55	17,5	3,5	7,5	0,45	0,60	2,5	0,25	55
Negro	San José	4,0	7,5	5	0,35	20	1,7	5	0,20	0,35	2,5	0,05	86c
Q. Grande	Guanacaste	114	275	90	24	37,5	3,4	10	0,25	0,57	2,5	0,05	99,8
La Cruz	San José	1660	2250	180	100	70	15	27,5	0,85			0,1	99,9
Paracua	San José	7,3	7,5	5	0,45	22,5	2,7	2,5	0,1	0,38	0	0	100
Q. Honda	San José	344	450	22,5	32,5	30	4,8	76	0,20	0,60	2,5	0,05	99,8
Q. Honda	San José	35	37,5	7,3	3,25	17,5	4,2	5	0,1	0,31	0	0	100
Tabarcia	San José	91	162	32,5	10,8	22,5	1,4	5	0,20	0,4	2,5	0,05	99,5
Potrero	San José	760	1125	56	130	65	9	17,5	0,65	0,80	2,5	0,20	93,8
Quebradas	San José	324	375	75	8,75	20	8,2	15	0,25	1,3	2,5	0	100
Quebradas	San José	780	900	90	25,0	20	16	22,5	0,45	1,8	5	0,05	99,8
Tino Sibaja	San José	80	113	12,5	6,25	32,5	2,4	5	0,42	0,42	2,5	0	100
Chirripó	San José	192	188	22,5	16	27,5	4,2	7,5	0,1	0,76	2,5	0	100
Tibás	Heredia	172	375	55	103,1	25	3,2	7,5	0,1	0,52	2,5	0	100
Q. Navajas	San José	1200	1375	130	181,3	70	12	17,5	0,4	1,6	2,5	0	100
Q. Navajas	San José	35	32,5	7,5	4,75	22,5	1,6	2,5	0,50	0,44	0	0,20	96
Cañas	San José	104	138	55	7,50	30	4	5	0,30	1,0	0	0,05	99
Curubres	San José	45	55	17,5	9,50	22,5	1,9	2,5	0,10	0,30	0	0	100
La Cruz	San José	5000	6500	550	205	90	5,2	10	0,10	0,5	2,5	0	100
Cajón	Alajuela	620	900	150	43	60	6,6	12,5	0,3	0,6	2,5	0	100
Negro	San José	154	180	45	17	25	3,7	5	0,2	0,6	2,5	0	100
Potrero	Guanacaste	465	900	130	61,4	70	9,1	17,5	12,0	1,4	5	0,05	99,9
Q. Grande	Guanacaste	116	275	55	17,6	32,5	2,6	5	0,20	0,88	2,5	0,10	99,4
Potrero	Guanacaste	640	1100	130	83,8	75	17	22,5	0,85	1,9	5	0,50	99,4
Pacuaca	San José	2900	3250	225	97,0	80	5	7,5	0,30	0,68	2,5	0,20	99,8
Buena Vista	San José	47	45	7,5	4,70	20	2,7	5	0,60	0,42	2,5	0	100
Q. Navajas	San José	1060	1375	130	77,7	80	6,1	7,5	0,11	1	2,5	0,10	99,9
Liberia	Guanacaste	154	150	30	2,74	10	13	12,5	0,20	1,5	2,5	0,15	95
Q. Honda	Alajuela	1100	1625	130	94	70	7,2	15	0,10	0,52	2,5	0,05	99,9
Colorado	Alajuela	92	180	45	10	25	5,6	7,5	0,30	1	2,5	0	100
Trojas	Alajuela	1180	1625	90	164	80	13	15	0,90	0,77	0	0,30	99,8
Sarchí	Alajuela	140	275	45	10,8	17,5	7,7	10	0,60	0,88	2,5	0,55	95

CUADRO No. 2. *Turbiedad, color aparente y contenido de hierro del agua cruda del Río Barranca (Puntarenas).*

Turbiedad u.f.	Color aparente u.c.	Color verdadero u.c.	Hierro total mg/L
500	550	60	65,5
900	1125	120	79,9
510	875	90	68,3
7,8	17,5	7,5	0,05
550	1250	90	101
1260	1750	180	92
430	1125	75	48

LITERATURA CONSULTADA

1. Castro, M. L. y Pérez, J. M. **Módulo 2.7 Procesos Unitarios Ensayos de laboratorio.** Programa Regional OPS/EHP/C.E.P.I.S. de Mejoramiento de calidad de agua para consumo humano abril 1981.
2. APHA, AWWA, WPCF. **Standard Methods for the examination of water and Waste Water,** 14 ed. Washington, 1975. pp 208.
3. Richter, C. **Módulo 2.6 Procesos Unitarios – Teoría – Floculación.** Programa Regional OPS/EHP/C.E.P.I.S. de Mejoramiento de calidad de agua para consumo humano, abril 1981.
4. México. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos **Manual del Curso Análisis de Aguas y aguas de desecho.** México 1979.

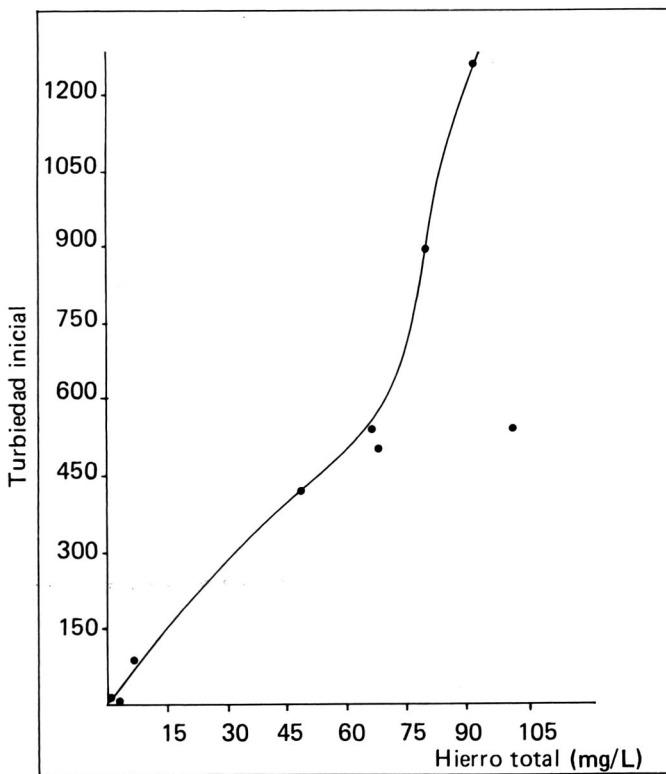


FIGURA No. 1. *Relación de turbiedad inicial vrs contenido de hierro para aguas del Río Barranca.*